
DIPLOMARBEIT

Herr
Frank Doant (B.Eng.)

**Untersuchung der robotergeführten
Montage von Verbindungs-
komponenten an Kunststoff-
verkleidungen im PKW-Interieur**

2017

DIPLOMARBEIT

Untersuchung der robotergeführten Montage von Verbindungs- komponenten an Kunststoff- verkleidungen im PKW-Interieur

Autor:
Herr Frank Doant (B.Eng.)

Studiengang:
Mechatronik

Seminargruppe:
Me15w1-A

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Klaus Müller

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. (FH) Martin Hiersemann M.Sc.

Einreichung:
Mittweida, 19.01.2017

DIPLOMA THESIS

Examination of the robotguided assembly of connecting components to plastic linings in the car interior

author:

Mr. Frank Doant (B.Eng.)

course of studies:

Mechatronics

seminar group:

Me15w1-A

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Klaus Müller

second examiner:

Dipl.-Ing. (FH) Martin Hiersemann M. Sc.

submission:

Mittweida, 19.01.2017

Bibliografische Angaben

Nachname, Vorname: Doant, Frank

Untersuchung der robotergeführten Montage von Verbindungskomponenten an Kunststoffverkleidungen im PKW-Interieur

Examination of the robot-guided assembly of connecting components to plastic linings in the car interior

83 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Ingenieurwissenschaften, Diplomarbeit, 2017

Abstract

Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung eines robotergeführten Montagevorgangs von Verbindungskomponenten an Kunststoffverkleidungen im PKW-Interieur. Diese gliedert sich auf in drei Teilgebiete.

Das erste Teilgebiet ist die Analyse der Verbindungskomponenten und einer Mittelkonsole, welche beispielhaft als Kunststoffverkleidung betrachtet wird. Dabei werden Geometrie, mögliche Fügmethoden und Fügekräfte betrachtet.

Der zweite große Abschnitt widmet sich der Analyse verschiedener Roboter und es erfolgt eine Untersuchung, ob und wie eine Verwendung von diesen möglich ist. Daran anschließend werden Programmablaufpläne und Simulationen mit den verschiedenen Methoden erstellt und auf Besonderheiten von diesen hingewiesen.

Das dritte und letzte Teilgebiet ist eine Untersuchung, ob eine Prüfung auf Anwesenheit und korrekte Montage der Verbindungskomponenten mittelsameratechnik möglich ist. Hierzu wurde eine Machbarkeitsanalyse erstellt, welche die Versuche dokumentiert und mögliche Fehlerfälle aufzeigt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Aufgabenstellung	2
1.3 Vorgehensweise	2
2 Analyse der Bauteile	4
2.1 Mittelkonsole	4
2.1.1 Definition.....	4
2.1.2 Geometrie	4
2.1.3 Fügepositionen	6
2.1.4 Farbvarianten.....	7
2.2 Blechmutter.....	7
2.2.1 Definition.....	7
2.2.2 Geometrie	8
2.3 Steckklammer	9
2.3.1 Definition.....	9
2.3.2 Geometrie	9
3 Montage der Verbindungskomponenten	13
3.1 Montage Blechmutter	13
3.1.1 Fügemethode.....	13
3.1.2 Fügekraft.....	13
3.1.3 Umgebung der Fügeposition	14
3.2 Montage Steckklammer groß	15
3.2.1 Fügemethode.....	15
3.2.2 Fügekraft.....	16
3.2.3 Umgebung der Fügeposition	17
3.3 Montage Steckklammer klein	18
3.3.1 Fügemethode.....	18
3.3.2 Fügekraft.....	19
3.3.3 Umgebung der Fügeposition	20

3.4	Greifer (Endeffektor)	21
4	Roboterauswahl	22
4.1	Vergleich von SCARA-Roboter und 6-Achs- Roboter	22
4.2	Auswahl der Robotergröße (ohne Greifer)	24
4.2.1	Stäubli TX60	25
4.2.2	Stäubli TX60L	28
4.2.3	Stäubli TX90XL	32
4.2.4	Ergebnis der Roboterauswahl	33
5	Simulation.....	36
5.1	Programmablaufplan	36
5.1.1	Definition	36
5.1.2	Symbole	36
5.1.3	Programmablaufplan Grundaufbau	36
5.1.4	Programmablaufplan Stäubli TX60.....	38
5.1.5	Programmablaufplan Stäubli TX60L.....	39
5.1.6	Programmablaufplan Stäubli TX90XL	40
5.2	Simulationen	41
5.2.1	Simulationsumgebung.....	41
5.2.2	Programmablauf	44
6	Prüfung	51
6.1	Allgemeines	51
6.2	Blechmutter.....	51
6.3	Steckklammer groß.....	56
6.4	Steckklammer klein	62
7	Fazit.....	68
7.1	Ergebnis.....	68
7.2	Ausblick	68
Literaturverzeichnis		XI
Anlagenverzeichnis.....		XIII
Eigenständigkeitserklärung		XIV
Anlagen.....		XV

Abkürzungsverzeichnis

A	Achse
CAD	<i>computer-aided design (dt.: rechnerunterstütztes Konstruieren)</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
FP	<i>Fügeposition</i>
IP	<i>International Protection</i>
kg	<i>Kilogramm</i>
mm	<i>Millimeter</i>
N	<i>Newton</i>
PTP	<i>Point-to-Point (dt.: Punkt-zu-Punkt)</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
TCP	<i>Tool Center Point (dt.: Werkzeugarbeitspunkt)</i>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Perspektivische Ansicht der Mittelkonsole	5
Abb. 2:	Außenmaße der Mittelkonsole	5
Abb. 3:	Fügepositionen der Verbindungskomponenten	6
Abb. 4:	Blechmutter - Form Q [4]	8
Abb. 5:	Blechmutter - Fügeposition 3	9
Abb. 6:	Steckklammer - Form 2 [7]	10
Abb. 7:	Steckklammer klein in isometrischer Ansicht und Vorderansicht	10
Abb. 8:	Steckklammer groß in isometrischer Ansicht und Vorderansicht	11
Abb. 9:	Steckklammer klein - Fügeposition 1	11
Abb. 10:	Steckklammer groß - Fügeposition 7	12
Abb. 11:	Kraftangriffsflächen Blechmutter	13
Abb. 12:	Versuchsaufbau Fügekraft Blechmutter	14
Abb. 13:	Geringste Entfernungen an den Fügepositionen	14
Abb. 14:	Endposition Steckklammer groß Montageschritt 1	15
Abb. 15:	Kraftangriffsfläche Steckklammer groß Montageschritt 2	16
Abb. 16:	Versuchsaufbau Fügekraft Steckklammer groß Montageschritt 1	16
Abb. 17:	Versuchsaufbau Fügekraft Steckklammer groß Montageschritt 2	17
Abb. 18:	Geringste Entfernungen an den Fügepositionen	18
Abb. 19:	Fügevorgang Steckklammer klein	19
Abb. 20:	Versuchsaufbau Fügekraft Steckklammer klein	19
Abb. 21:	Abmessungen in der Umgebung der Fügeposition	20
Abb. 22:	Doppelgreifer	21
Abb. 23:	Vergleich der Quadereckpunkte mit der realen Mittelkonsole	24
Abb. 24:	Stäubli TX60 - Arbeitsraum	26
Abb. 25:	Stäubli TX60 - 600 mm nach links verschobene Mittelkonsole	27
Abb. 26:	Stäubli TX60 - 600 mm nach rechts verschobene Mittelkonsole	27
Abb. 27:	Stäubli TX60 - Positionen Mittelkonsole	28
Abb. 28:	Stäubli TX60L - Arbeitsraum	29
Abb. 29:	Stäubli TX60L - Erreichbarkeit der Eckpunkte	30
Abb. 30:	Stäubli TX60L - 150 mm nach links verschobene Mittelkonsole	30
Abb. 31:	Stäubli TX60L - 450 mm nach rechts verschobene Mittelkonsole	31
Abb. 32:	Stäubli TX60L - Positionen Mittelkonsole	31
Abb. 33:	Stäubli TX90XL - Arbeitsraum und vereinfachte Mittelkonsole	32
Abb. 34:	Stäubli TX90XL - Erreichbarkeit der Eckpunkte	33
Abb. 35:	Stäubli TX90XL - Position Mittelkonsole	33
Abb. 36:	Programmablaufplan Stäubli TX60	39
Abb. 37:	Programmablaufplan Stäubli TX60L	40
Abb. 38:	Programmablaufplan Stäubli TX90XL	41
Abb. 39:	Aufbau Kamerasystem und Entnahmepositionen	42
Abb. 40:	Mittelkonsole in perspektivischer Ansicht, Draufsicht und Seitenansicht	43
Abb. 41:	Zuordnung von Handle zu Handler [9]	44
Abb. 42:	Kollision Stäubli TX60 mit Greifer (Fügeposition 2)	48
Abb. 43:	Kollision Stäubli TX60 mit Greifer (Fügeposition 3)	49
Abb. 44:	Kollision Stäubli TX60 mit Greifer (Fügeposition 4)	49
Abb. 45:	Versuchsaufbau (Schema) - Prüfung Blechmuttern	52

Abb. 46: Musterbild Blechmuttern mit Nummerierung (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	53
Abb. 47: Eingelernte Kontur der Blechmutter Nummer 1 (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	53
Abb. 48: Fehlerfall - Blechmutter Nummer 1 nicht montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	55
Abb. 49: Fehlerfall - Blechmutter Nummer 1 nicht komplett montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	55
Abb. 50: Fehlerfall - Blechmutter Nummer 1 schief montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	56
Abb. 51: Versuchsaufbau (Schema) - Prüfung Steckklammern groß	57
Abb. 52: Musterbild Steckklammern groß mit Nummerierung (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	58
Abb. 53: Eingelernte Kontur der Steckklammer groß Nummer 1 (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	58
Abb. 54: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 nicht montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	60
Abb. 55: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 nur angefädelt (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	60
Abb. 56: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 schief montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	61
Abb. 57: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 nicht nachgedrückt (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	61
Abb. 58: Versuchsaufbau (Schema) Seitenansicht - Prüfung Steckklammern klein ...	62
Abb. 59: Versuchsaufbau (Schema) Draufsicht - Prüfung Steckklammern klein	62
Abb. 60: Musterbild Steckklammern klein (schwarze Mittelkonsole)	63
Abb. 61: Musterbild Steckklammern klein (beige Mittelkonsole)	64
Abb. 62: Konturerkennung Steckklammer klein (schwarze Mittelkonsole)	64
Abb. 63: Konturerkennung Steckklammer klein (beige Mittelkonsole)	65
Abb. 64: Fehlerfall - Steckklammer klein Position 1 nicht montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	66
Abb. 65: Fehlerfall - Steckklammer klein Position 1 verkantet montiert (links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)	67

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zuordnungstabelle: Fügeposition - Verbindungskomponente	7
Tab. 2:	Merkmale der Blechmutter (Form Q) - alle Angaben in mm [6]	8
Tab. 3:	Merkmale der Steckklammer (Form 2) - alle Angaben in mm [6]	10
Tab. 4:	Robotervergleich (SCARA-Roboter mit 6-Achs-Roboter).....	22
Tab. 5:	Stäubli TX60 - Technische Daten [8]	25
Tab. 6:	Stäubli TX60L - Technische Daten [8]	28
Tab. 7:	Stäubli TX90XL - Technische Daten [9].....	32
Tab. 8:	Vergleich Stäubli TX60 - Stäubli TX60L - Stäubli TX90XL	34
Tab. 9:	Symbolerklärung [10]	36
Tab. 10:	Zuordnungstabelle: Fügepositionen alt - Fügepositionen neu.....	38
Tab. 11:	Befehle Programmablauf.....	46
Tab. 12:	Abkürzungstabelle Programmtexte.....	47
Tab. 13:	Fehlerfälle Blechmutter.....	54
Tab. 14:	Fehlerfälle Steckklammer groß.....	59
Tab. 15:	Fehlerfälle Steckklammer klein.....	66

1 Einleitung

Die Automation bietet zunehmend Lösungen für komplexe Probleme an. Es ist nicht mehr nur möglich, Teilprozesse oder immer wiederkehrende Abläufe zu automatisieren, sondern es können Lösungen für Gesamtsysteme entwickelt und angewendet werden.

In den ersten drei Quartalen des Jahres 2015 hatte die Automatisierungsbranche in Deutschland einen Umsatz von 49,3 Mrd. € erreicht, was eine Steigerung um 5,4 % zum gesamten Jahr 2014 ausmacht. Ebenso sind die Auftragseingänge um 6,4 % angestiegen. [1] Anhand dieser Zahlen wird erkennbar, dass es sich bei der Automation um eine wachsende Branche handelt, welche sich auch zukünftig weiterentwickeln wird.

Damit die Automation weiterhin wachsen kann, muss die Grundlagenforschung vorangetrieben werden, welche nachfolgend in der Herstellung und Entwicklung von Automationsanlagen Anwendung findet. Werden diese Teilschritte nicht gut aufeinander abgestimmt, kann es zu einem Einbruch der Entwicklung kommen, der das Wachstum hemmt. Es muss somit immer beachtet werden, dass die Grundlagenforschung mindestens fünf Jahre benötigt, bis diese Erkenntnisse in der Entwicklung und Herstellung einfließen können. Weitere ein bis fünf Jahre werden benötigt, bis ein Produkt zum Einsatz kommen kann. [2]

Es gibt verschiedene Gründe für die Entscheidung, eine Aufgabe zu automatisieren. Dies können auf der einen Seite wirtschaftliche Aspekte wie eine höhere Produktqualität, eine erhöhte Fertigungsmenge oder die Einsparung von Personalkosten sein. Auf der anderen Seite ist es aber durch eine Automatisierung auch möglich, den Menschen von schwerer, gesundheitsschädigender Arbeit zu befreien. Dies kann entweder durch die komplette Ersetzung des Arbeiters geschehen oder es wird eine Mensch-Roboter-Kollaboration eingesetzt, bei der sich die Arbeitskraft der Maschine und die des Arbeiters ergänzen.

1.1 Problemstellung

Die bisherige Montage von Verbindungskomponenten an Kunststoffspritzgussteilen erfolgt manuell durch den Menschen. Bei der Montage treten durch die Geometrie und die notwendigen aufzubringenden Kräfte viele Verletzungen an Händen und Fingern der Monteure auf. Damit die Arbeiter entlastet werden und es zu einer Reduzierung von Verletzungen kommt, ist es eine gute Lösung, diese Aufgabe automatisiert durchzuführen.

Ein weiterer Punkt, der eine Automation sinnvoll macht, ist die erhöhte Flexibilität, die ein Industrieroboter mit sich bringt. So ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit auf verschiedene Prozessparameter, wie eine Geometrieänderung, zu reagieren. Dies hat den Vorteil, dass man ohne Zeitverlust verschiedene Typenreihen bearbeiten kann.

Nachfolgend zu dem Fügeprozess ist eine Prüfung vorgesehen, welche bisher räumlich voneinander getrennt sind. Durch eine Neuauslegung des Gesamtkonzeptes ist es möglich, die beiden Prozesse zu kombinieren. Das Umgehen der räumlichen Trennung ermöglicht zeitnah nach dem Ausführen des Fügeprozesses eine Auswertung, ob die Verbindungskomponenten korrekt montiert wurden. Ebenso kann so erreicht werden, dass innerhalb einer Arbeitszelle mehrere Arbeitsschritte ausgeführt werden, was platz- und zeitsparend ist.

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe besteht darin, eine Applikation zu erstellen, mit der es möglich ist, die verschiedenen Verbindungskomponenten zu montieren. Zu diesem Zweck soll untersucht werden, ob Industrieroboter diese Aufgabe ausführen können und welches Konzept angewendet werden kann. Hierzu sollen Robotersimulationen mit Hilfe der Software Staubli Robotics Suite erstellt werden.

Die zweite Aufgabe der Untersuchung beschäftigt sich mit der Prüfung. Dabei wird eine Machbarkeitsanalyse erstellt, welche über ein Kamerasystem die korrekte Montage der Verbindungskomponenten kontrolliert.

Die dritte Aufgabe besteht darin, in einer Testzelle die Verbindungskomponente Blechmutter in der Mittelkonsole zu montieren, um zu überprüfen, ob die Applikation grundsätzlich auf diese Weise ausführbar ist.

1.3 Vorgehensweise

Das erste Kapitel der Untersuchung widmet sich der Analyse der Bauteile. Dabei wird jeweils eine Definition für das Bauteil erstellt und nachfolgend die Geometrie näher betrachtet und mit Bildern und Parametern beschrieben.

Im zweiten Kapitel werden die Fügemethoden der Verbindungskomponenten näher beleuchtet. Dabei geht es darum, welche Fügemethode für die vorliegende Aufgabe sinnvoll ist. Hierzu werden zuerst Krafrichtung und Fügekraft definiert und verschiedene Fügemethoden in Betracht gezogen. Als Resultat dieser Untersuchung soll gezeigt

werden, ob der bereits vorhandene Greifer in der Simulation Anwendung finden kann oder ob eine Neukonstruktion notwendig ist.

Das dritte Kapitel widmet sich der Auswahl geeigneter Roboter. Dabei wird das Augenmerk auf Industrieroboter der Firma Stäubli International AG gelegt und alle anderen Hersteller vernachlässigt. Zuerst wird bei der Auswahl der geeignete Robotertyp ausgesucht. Zu diesem Zweck werden zwei oft verwendete Robotertypen gegenübergestellt. Nachfolgend werden drei unterschiedlich große Roboter näher betrachtet und untersucht, ob mit diesen die Fügeprozesse ausgeführt werden können. Im Anschluss daran soll ein Vergleich der Roboter stattfinden und betrachtet werden, in welcher Form der jeweilige Roboter eingesetzt werden kann.

Das vierte Kapitel beschäftigt sich mit der Simulation der drei verschiedenen Varianten. Hierzu werden Programmablaufpläne erstellt, die für die letztendliche Programmierung als Grundlage dienen können. Anhand dieser können ebenfalls die drei Abläufe in der Simulationssoftware erstellt werden und eine Entscheidung getroffen werden, mit welchen Robotern die Applikation durchgeführt werden kann.

Das fünfte Kapitel beschäftigt sich mit der Prüfung. Hierbei wird zuerst auf die verschiedenen Prüfmerkmale eingegangen. Nachfolgend wird die praktisch durchgeführte Machbarkeitsanalyse thematisiert und auf deren Ergebnis eingegangen.

Das sechste und letzte Kapitel ist das Fazit der Diplomarbeit. In diesem wird die vorliegende Arbeit dahingehend betrachtet, ob ein positives oder negatives Resultat erzielt wurde. Ebenfalls wird ein Ausblick getätigt, welche weiterführenden Schritte notwendig sind, um die Applikation weiterzuentwickeln und in der Realität auszuführen.

2 Analyse der Bauteile

2.1 Mittelkonsole

2.1.1 Definition

Die Mittelkonsole ist Teil des Armaturenbrettes von Fahrzeugen und verläuft auf Kniehöhe zwischen den Vordersitzen. Sie beginnt zwischen den vorderen Fußräumen und endet zwischen oder kurz nach den Rücklehnen der Vordersitze. Neben Anzeige- und Bedienelementen können zum Beispiel Staufächer, Armablage und Getränkehalter verbaut sein. Je nach Fahrzeugtyp sind Handbremsgriff und Schalthebel Teil der Mittelkonsole.

2.1.2 Geometrie

Die Mittelkonsole ist ein Kunststoffspritzgussteil und wird nach Kundenwunsch bzw. Angebotspaketen hergestellt. Dies hat zur Folge, dass die Geometrie jeweils ähnlich ist, aber nicht in allen Fällen gleich.

Durch die unterschiedlichen Varianten der Ausstattungselemente, wie Fächer, Ablagen, Bedienelemente und Abdeckungen, kommt es in vielen Fällen zu einer unterschiedlichen Geometrie. Diese Unterschiede machen sich bemerkbar, indem entweder an zusätzlichen Positionen Verbindungskomponenten montiert werden oder Fügepositionen entfallen. Ebenso kann es vorkommen, dass bestimmte Verbindungskomponenten keinen Einsatz finden oder das weitere hinzukommen. Alle diese verschiedenen Varianten müssen dem ausführenden Roboter mitgeteilt werden, damit dieser die richtige Anzahl der Verbindungskomponenten an den korrekten Positionen montiert.

Als Beispiel für eine Geometrieänderung kann die Umstellung von Linkslenker auf Rechtslenker betrachtet werden. In diesem Fall wird die Mittelkonsole an ihrer Querschnittsebene der Längsrichtung gespiegelt. Dabei werden alle Spannpositionen der Mittelkonsole und Fügepositionen der Verbindungskomponenten gespiegelt.

In den folgenden Abbildungen ist eine schwarze Mittelkonsole für ein Fahrzeug mit Linkslenker dargestellt (s. Abb. 1).



Abb. 1: Perspektivische Ansicht der Mittelkonsole

Die Außenmaße der Mittelkonsole sind in der nächsten Abbildung angetragen (s. Abb. 2).

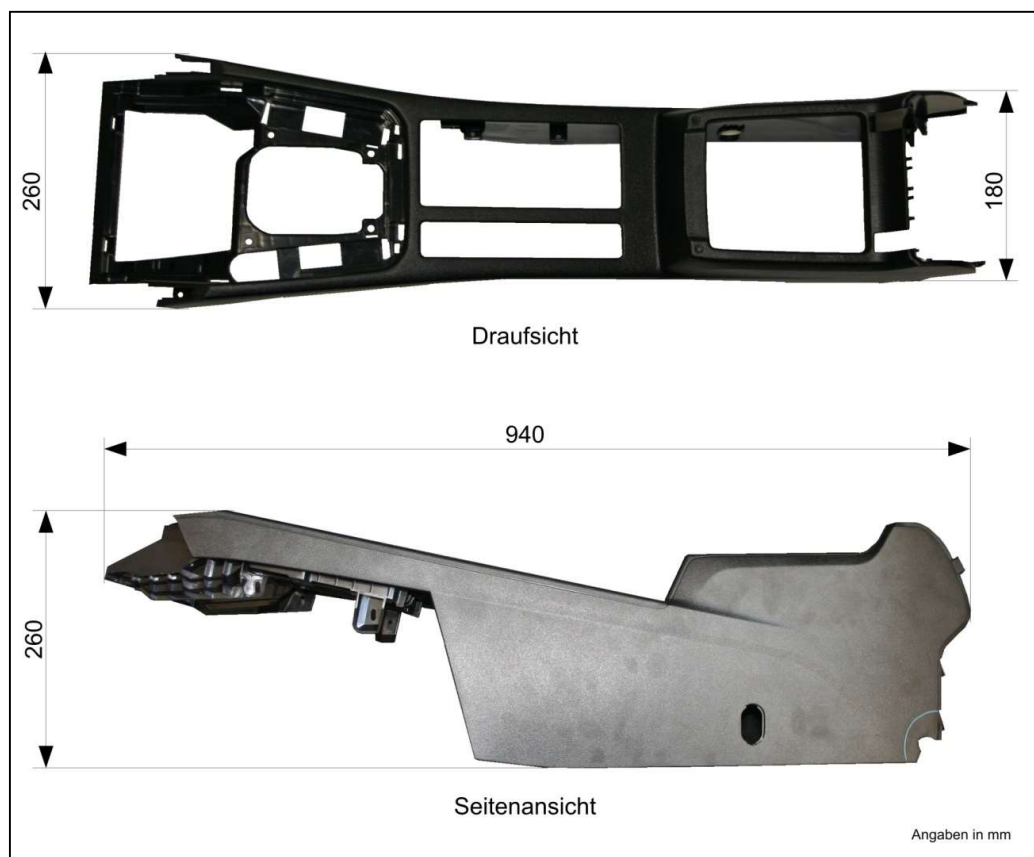


Abb. 2: Außenmaße der Mittelkonsole

2.1.3 Fügepositionen

Die Verbindungskomponenten Blechmutter, Steckklammer klein und Steckklammer groß werden an verschiedenen Positionen der Mittelkonsole gefügt. Damit eine eindeutige Zuordnung der Fügepositionen vorhanden ist, werden diese mittels der folgenden Abbildung definiert (s. Abb. 3). Wird die Geometrie der Mittelkonsole geändert, werden die Fügepositionen so durchnummeriert, wie die Reihenfolge der Montage stattfindet.

Die Abkürzung FP steht für Fügeposition.

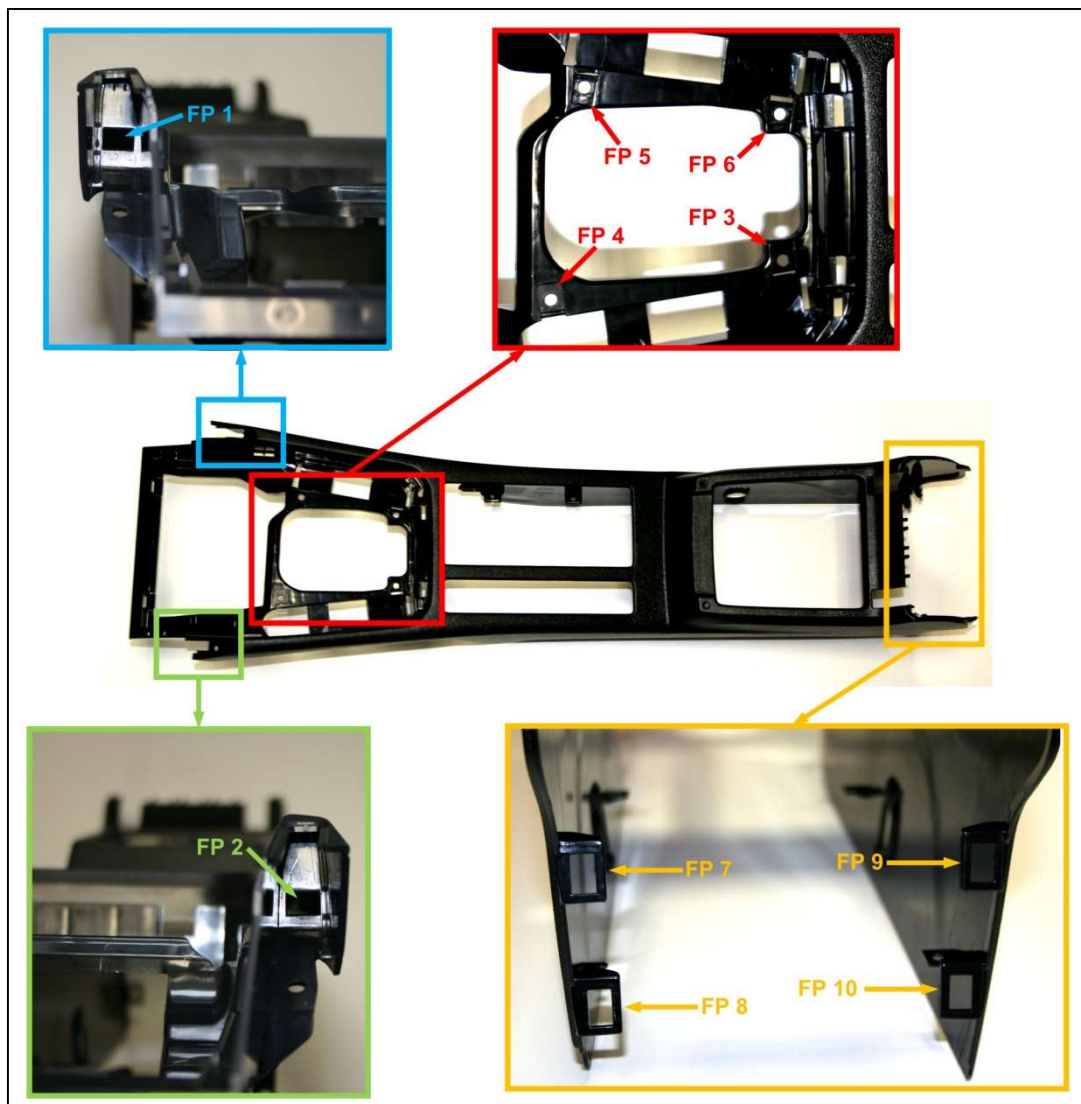


Abb. 3: Fügepositionen der Verbindungskomponenten

Um eine eindeutige Zuordnung zu schaffen, welche Verbindungskomponente an einer Fügeposition montiert werden muss, wird eine Zuordnungstabelle verwendet (s. Tab. 1).

Diese ist im vorliegenden Fall für eine Mittelkonsole für Linkslenker erstellt und kann bei Geometrieänderung eine andere Form annehmen.

Tab. 1: Zuordnungstabelle: Fügeposition - Verbindungskomponente

Fügeposition (FP)	Verbindungskomponente
1	Steckklammer klein
2	Steckklammer klein
3	Blechmutter
4	Blechmutter
5	Blechmutter
6	Blechmutter
7	Steckklammer groß
8	Steckklammer groß
9	Steckklammer groß
10	Steckklammer groß

Die Verbindungskomponenten werden unter den Gliederungspunkten 2.2 (Blechmutter) und 2.3 (Steckklammer) betrachtet.

2.1.4 Farbvarianten

Die Mittelkonsole wird momentan in fünf verschiedenen Farben angeboten. Diese sind beige, hellgrau, mittelgrau, schwarz und braun.

Bei der Montage der einzelnen Verbindungskomponenten spielt die Farbgebung keine Rolle, da der Roboter nur nach vorgegebenen Positionen und Orientierungen arbeitet. Erst bei der Prüfung kommt es zu einem Einfluss der Farbe, da diese mittels einer Kameraauswertung geschehen soll. Näher wird darauf unter dem Gliederungspunkt 6 (Prüfung) eingegangen.

2.2 Blechmutter

2.2.1 Definition

Die Blechmutter ist ein u-förmig gebogener Federstahl, welcher mit einem Durchgangsloch versehen ist. Zur Befestigung wird sie über Blech oder dünne Kunststoffe, bei denen ein Gewindeschneiden wegen der zu geringen Dicken nicht möglich ist, geschoben. Mittels einer Schraube (Blech- oder Maschinenschraube) und vorgefertigten Durchgangsbohrungen in Blechmutter und Blech oder Kunststoffteil kommt es zu einer

formschlüssigen Verbindung. Die Blechmutter wird auch als Schnapp- oder Karosseriemutter bezeichnet. [3]

2.2.2 Geometrie

Es werden an der Mittelkonsole Blechmuttern der Form Q montiert. Diese ist nachfolgend als Vollmodell und den daraus abgeleiteten Ansichten abgebildet (s. Abb. 4). In den verschiedenen Ansichten sind die Merkmale, welche die Blechmutter definieren, gekennzeichnet.

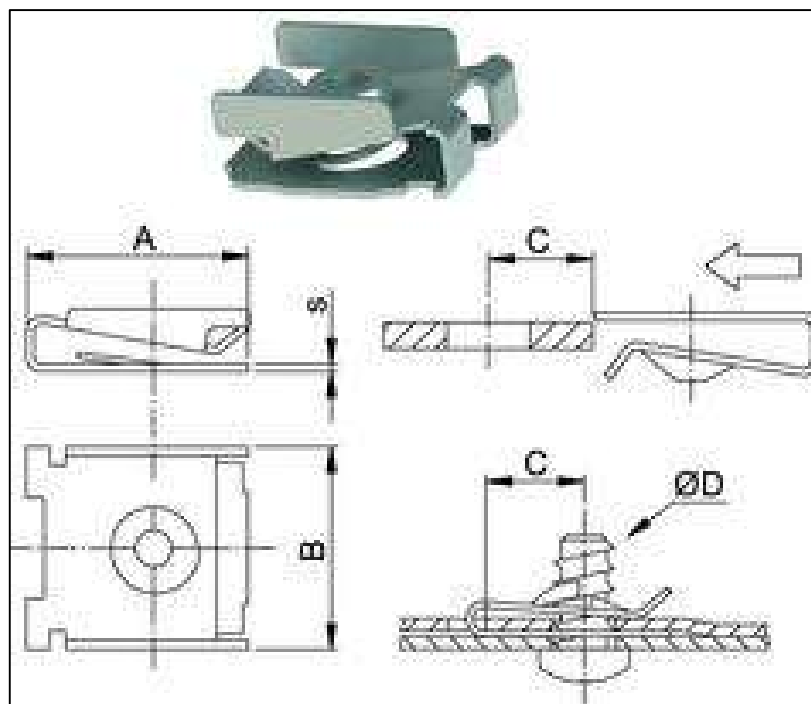


Abb. 4: Blechmutter - Form Q [4]

Die Merkmale der vorhandenen Blechmuttern sind mit keinen Katalogwerten übereinstimmend. Somit wurden diese an mehreren Beispielteilen gemessen und die ermittelten Werte in einer Tabelle festgehalten (s. Tab. 2). Die Befestigungsdicke wurde direkt an der Mittelkonsole gemessen und ist nicht an allen Fügepositionen gleich groß.

Tab. 2: Merkmale der Blechmutter (Form Q) - alle Angaben in mm [6]

	ØD	Befestigungs- dicke	A	B	C	s	Material
Blech- mutter	4,70	2,50 -2,65	16,00	12,00	6,50	0,50	Federstahl

Die folgende Abbildung zeigt eine gefügte Blechmutter an Fügeposition 3 (s. Abb. 5).



Abb. 5: Blechmutter - Fügeposition 3

2.3 Steckklammer

2.3.1 Definition

Die Steckklammer dient zur Blindbefestigung von Abdeckungen und Verkleidungen. Durch Eindrücken in einen passenden Ausschnitt ist die Montage einfach. Da keine genaue Passung zwischen Steckklammer und Ausschnitt notwendig ist, muss der Ausschnitt keiner hohen Toleranz unterliegen.

2.3.2 Geometrie

Es werden an der Mittelkonsole Steckklammern der Form 2 montiert. Diese ist nachfolgend als Vollmodell und den daraus abgeleiteten Ansichten abgebildet (s. Abb. 6). In den verschiedenen Ansichten sind die Merkmale, welche die Steckklammer definieren, gekennzeichnet.

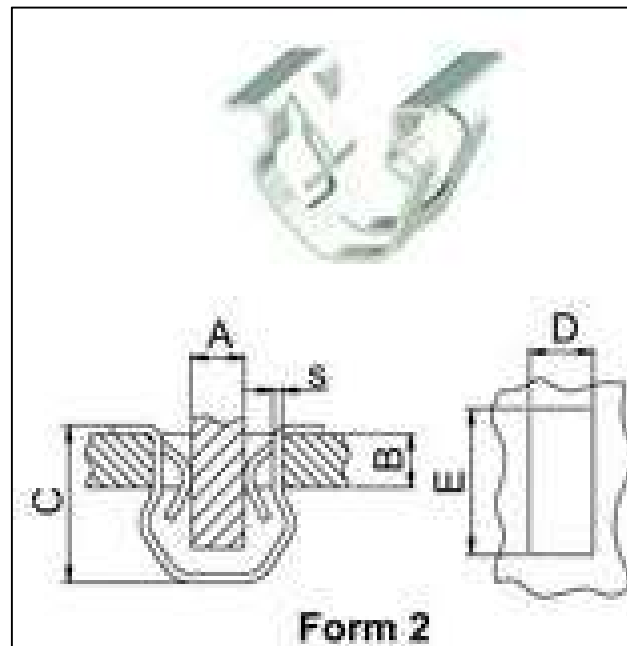


Abb. 6: Steckklammer - Form 2 [7]

Die Steckklammer wird in zwei verschiedenen Größen verbaut. Damit es zu keiner Verwechslung kommen kann, werden sie mit den Zusätzen klein bzw. groß ergänzt. Die Merkmale der vorhandenen Steckklammern sind mit keinen Katalogwerten übereinstimmend. Somit wurden diese an mehreren Beispielteilen und die ermittelten Werte in einer Tabelle festgehalten (s. Tab. 3). In der Tabelle wird auf die Abbildungen der unterschiedlichen Steckklammergrößen verwiesen.

Tab. 3: Merkmale der Steckklammer (Form 2) - alle Angaben in mm [6]

	A	B	C	D	E	s	Material
Steckklammer klein (s. Abb. 7)	2,00 - 2,10	2,60 - 2,70	10,35	5,50	6,85	0,45	Federstahl
Steckklammer groß (s. Abb. 8)	3,65 - 3,70	3,50 - 3,60	15,85	6,50	13,45	0,40	Federstahl

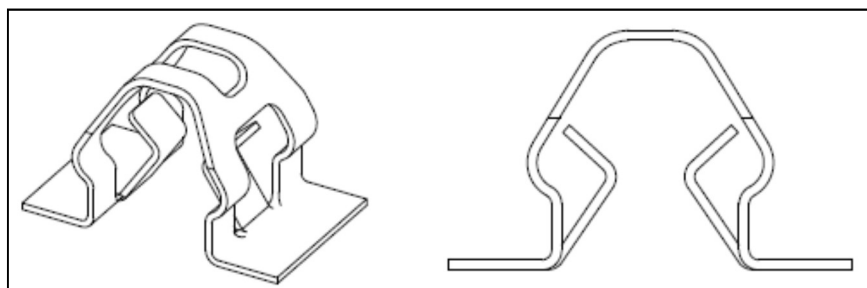


Abb. 7: Steckklammer klein in isometrischer Ansicht und Vorderansicht

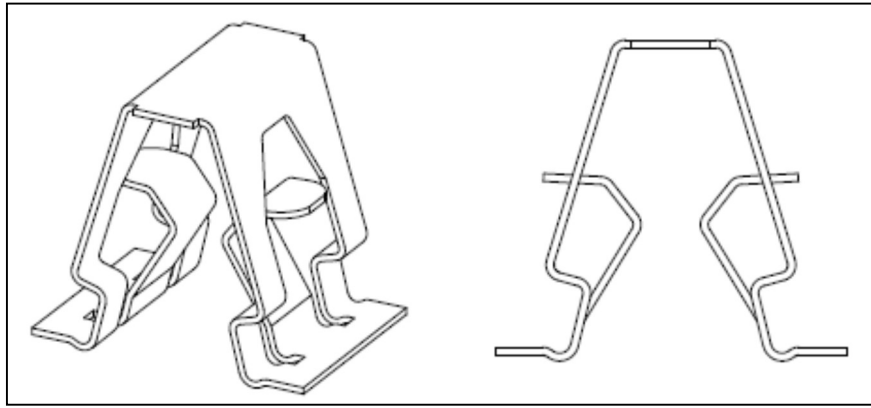


Abb. 8: Steckklammer groß in isometrischer Ansicht und Vorderansicht

Die folgende Abbildung zeigt eine gefügte Steckklammer klein an Fügeposition 1 (s. Abb. 9).



Abb. 9: Steckklammer klein - Fügeposition 1

Die folgende Abbildung zeigt eine gefügte Steckklammer groß an Fügeposition 7 (s. Abb. 10).



Abb. 10: Steckklammer groß - Fügeposition 7

3 Montage der Verbindungskomponenten

3.1 Montage Blechmutter

3.1.1 Fügemethode

Die Blechmutter wird mittels Druckkraft über den dünnen Kunststoff der Fügeposition geschoben. Die Krafteinleitung findet dabei über die hinteren beiden Flächen statt (s. Abb. 11).

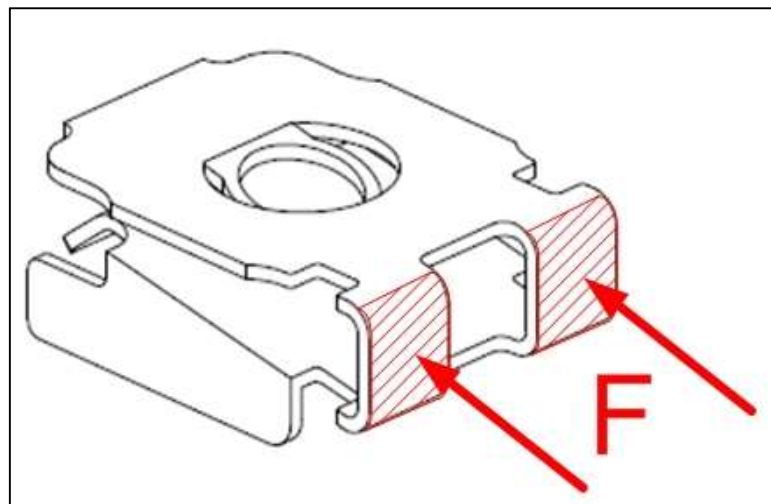


Abb. 11: Kraftangriffsflächen Blechmutter

Bei der Montage wird die Blechmutter über eine Strecke von 16 mm bewegt, damit ihr Durchgangsloch mit dem der Fügeposition übereinstimmend ist. Wird diese Strecke unterschritten, liegen die Durchgangsbohrungen nicht übereinander und die später einzubringende Schraube kann nicht montiert werden. Kommt es zu einer Überschreitung der Fügestrecke wird eine ungewollte Kraft auf die Mittelkonsole ausgeübt und Beschädigungen können entstehen.

3.1.2 Fügekraft

Um die notwendige Druckkraft zu bestimmen, wird ein Versuchsaufbau gestaltet. Bei diesem wird eine Schlaufe von hinten um die Blechmutter gelegt, an welcher mit einem Federkraftmesser gezogen wird (s. Abb. 12). Die Blechmutter befindet sich dabei an einer ihrer Fügepositionen. Damit ein aussagekräftiges Ergebnis zustande kommt, wird bei jeder Messung eine neue Blechmutter eingesetzt.

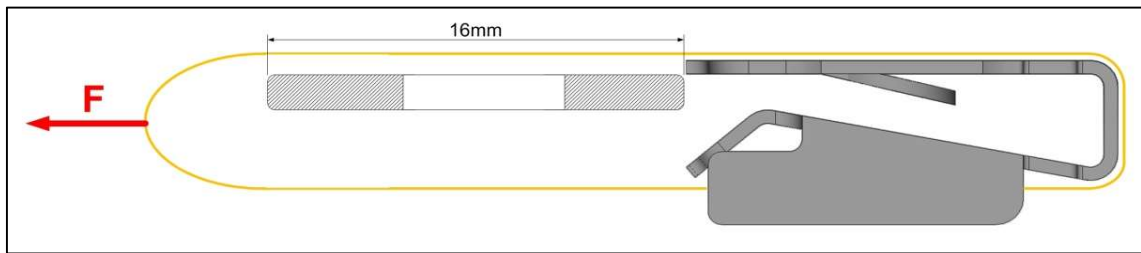


Abb. 12: Versuchsaufbau Fügekraft Blechmutter

Die Kraftmessungen ergeben, dass eine minimale Kraft von 35 N und eine maximale von 40 N auf die Blechmutter einwirken muss, um diese zu montieren. Da davon ausgegangen wird, dass bei jedem Montagevorgang die maximale Kraft aufzubringen ist, wird eine Fügekraft von 40 N angewendet. (Die komplette Versuchsreihe ist in Anlage A1 zu finden.)

3.1.3 Umgebung der Fügeposition

Die Konstruktion des Greifers für die Montage der Blechmutter kann erst vorgenommen werden, nachdem die Umgebung der Fügepositionen analysiert wurde. Dies wird beispielhaft an der real vorhandenen Mittelkonsole durchgeführt. Es werden alle vier Fügepositionen der Blechmutter vermessen und die geringsten Maße genutzt, um die maximalen Abmessungen des Greifers zu definieren (s. Abb. 13).

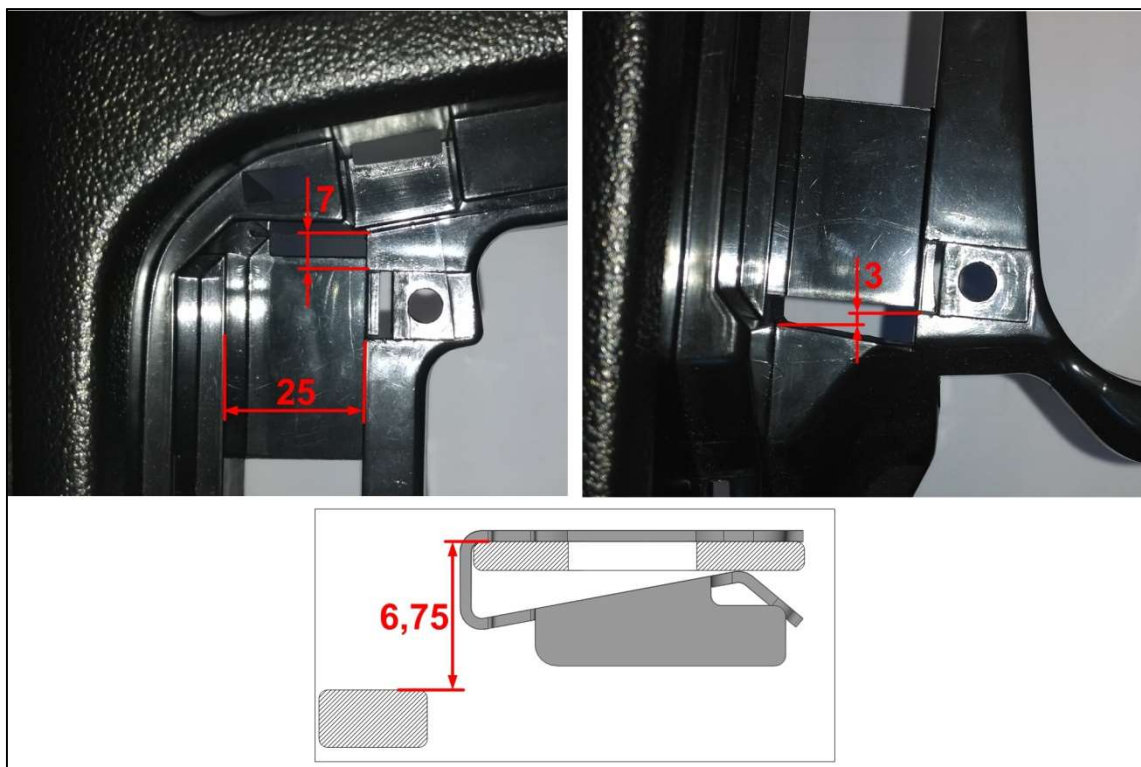


Abb. 13: Geringste Entfernungen an den Fügepositionen

Es ist bei der Auslegung weiterhin darauf zu achten, dass von den 25 mm zum Rand noch einmal 16 mm verloren gehen. Die Reduzierung dieses Maßes kommt zustande, da die Blechmutter vor der Montage in einer Ebene mit der Fügeposition ausgerichtet werden muss.

Mit den bestimmten Parametern ist es möglich, einen Greifer zu konstruieren, der die Krafteinleitung realisiert und kollisionsfrei zur Fügeposition verfahren werden kann.

3.2 Montage Steckklammer groß

3.2.1 Fügemethode

Bei manuell durchgeführten Montagevorgängen wurde herausgefunden, dass eine Kraftausübung in Fügerichtung auf die Steckklammer groß eine Verformung der rechteckigen Aussparung der Fügeposition hervorruft. Der Grund hierfür liegt in der Geometrie der Steckklammer groß. Wie unter Punkt 2.3.2 gut erkennbar, liegen die beiden Nasen außerhalb der Schenkel (s. Abb. 8). Aufgrund dessen ist es nicht möglich, ohne großen Widerstand zu der jeweiligen Fügeposition zu gelangen

Um das Problem mit den Nasen zu umgehen, wird eine zweite Fügemethode getestet. Dabei soll durch ein Zusammenpressen der Schenkel erreicht werden, dass die Spitzen der Nasen beim Anfahren der Fügeposition enger beieinander liegen und somit keine Kollision auftritt. Sobald die Nasen unterhalb der Aussparung liegen, kann die Kraft gelöst werden (s. Abb. 14).

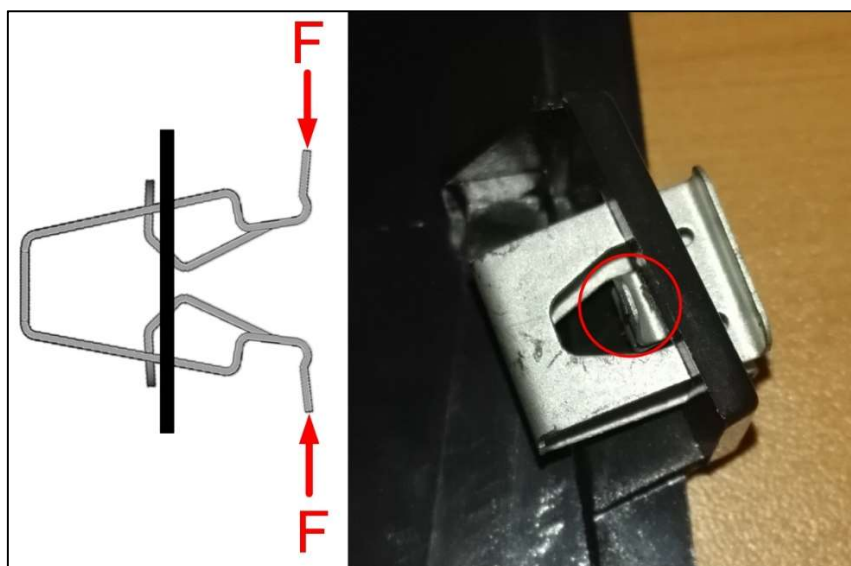


Abb. 14: Endposition Steckklammer groß Montageschritt 1

Nachfolgend kann die endgültige Lage der Steckklammer groß mit leichtem Druck von hinten auf die beiden dargestellten Flächen erreicht werden (s. Abb. 15).

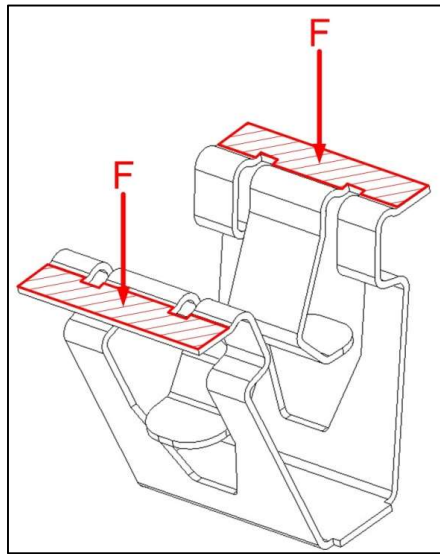


Abb. 15: Kraftangriffsfläche Steckklammer groß Montageschritt 2

3.2.2 Fügekraft

Da die Fügemethode aus zwei Montageschritten besteht, werden für beide die notwendigen Kräfte bestimmt. Zu diesem Zweck werden zwei Versuchsaufbauten gestaltet. Der erste dient dazu, die Kraft zu bestimmen, welche benötigt wird, um die Schenkel der Steckklammer groß zusammenzudrücken. Hierfür wird ein Schenkel eingespannt und um den anderen eine Schlaufe gelegt, an der mit einem Federkraftmesser gezogen wird (s. Abb. 16). Die Zugkraft wird solange vergrößert, bis sich die beiden Nasen in der Mitte der Steckklammer groß berühren. Damit ein aussagekräftiges Ergebnis zustande kommt, wird bei jeder Messung eine neue Steckklammer groß eingesetzt.

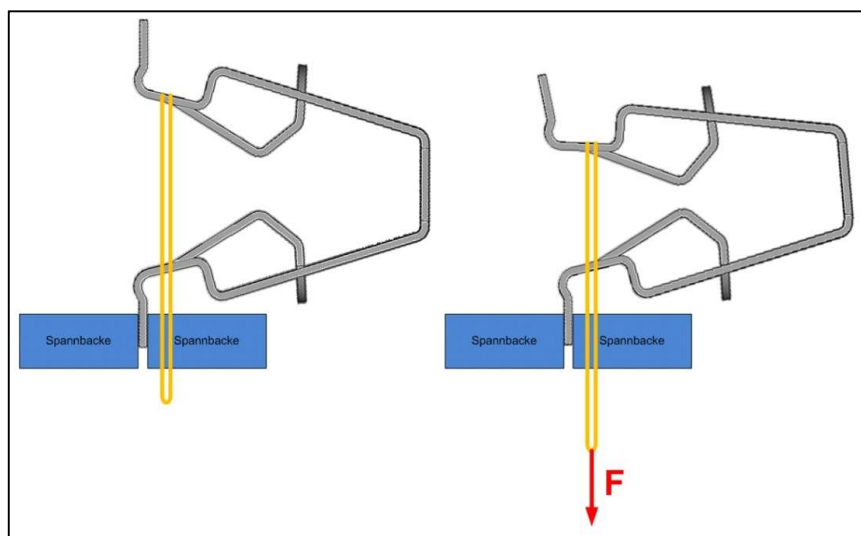


Abb. 16: Versuchsaufbau Fügekraft Steckklammer groß Montageschritt 1

Die Kraftmessungen ergeben, dass eine minimale Kraft von 28 N und eine maximale von 32 N auf die Steckklammern groß einwirken muss, um eine kollisionsfreie Montage zu ermöglichen. Da davon ausgegangen wird, dass bei jedem Montagevorgang die maximale Kraft notwendig ist, wird eine Druckkraft von 32 N angewendet. (Die komplette Versuchsreihe ist in Anlage A1 zu finden.)

Der zweite Versuchsaufbau wird genutzt, um zu bestimmen, welche Kraft notwendig ist, um die letztendliche Fügeposition zu erreichen. Hierzu wird die Steckklammer groß in gespanntem Zustand soweit in die rechteckige Aussparung der Fügeposition bewegt, bis sich die Nasen unterhalb dieser befinden. Anschließend wird mit einem Druckkraftmessgerät die benötigte Einpresskraft bestimmt (s. Abb. 17). Damit ein aussagekräftiges Ergebnis zustande kommt, wird bei jeder Messung eine neue Steckklammer groß eingesetzt.

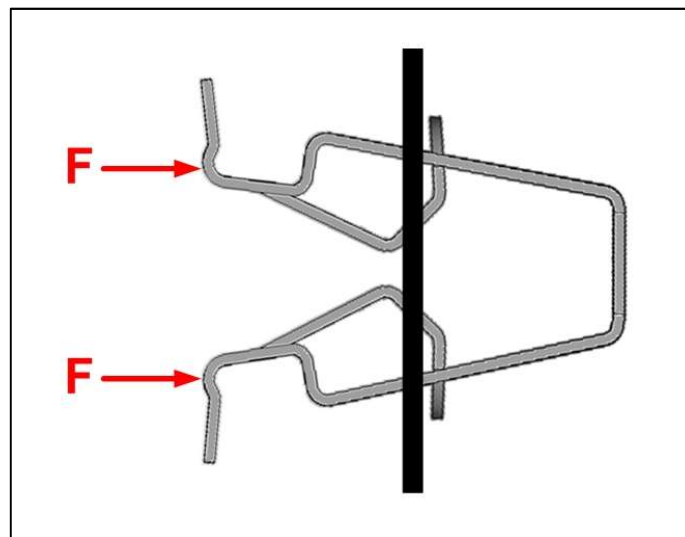


Abb. 17: Versuchsaufbau Fügekraft Steckklammer groß Montageschritt 2

Die Kraftmessungen ergeben, dass eine minimale Kraft von 6,5 N und eine maximale von 8,5 N auf die Steckklammern (groß) einwirken muss, um diese in die Endlage zu bewegen. Da davon ausgegangen wird, dass bei jedem Montagevorgang die maximale Kraft notwendig ist, wird eine Fügekraft von 8,5 N angewendet. (Die komplette Versuchsreihe ist in Anlage A1 zu finden.)

3.2.3 Umgebung der Fügeposition

Die Konstruktion des Greifers für die Montage der Steckklammern groß kann erst vorgenommen werden, nachdem die Umgebung der Fügepositionen analysiert wurde. Dies wird beispielhaft an der real vorhandenen Mittelkonsole durchgeführt. Es werden alle vier Fügepositionen vermessen und die geringsten Maße genutzt, um die maximalen Abmessungen des Greifers zu definieren (s. Abb. 18).

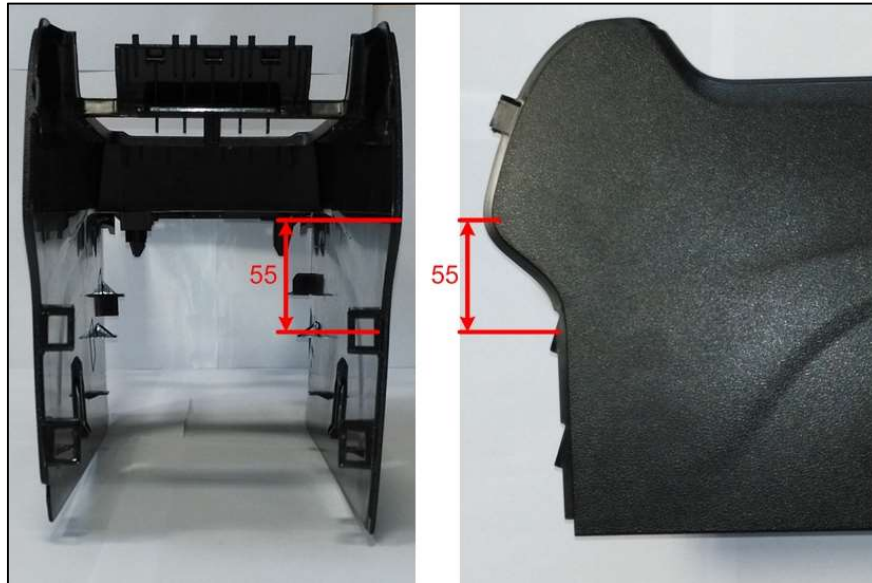


Abb. 18: Geringste Entfernungen an den Fügepositionen

Mit den bestimmten Parametern ist es möglich, einen Greifer zu konstruieren, der die beiden notwendigen Krafteinleitungen realisiert und kollisionsfrei zur Fügeposition verfahren werden kann.

3.3 Montage Steckklammer klein

3.3.1 Fügemethode

Die Fügemethode der Steckklammer klein basiert auf der der Steckklammer groß. Durch die leicht unterschiedliche Geometrie der Steckklammern und der Fügepositionen entfällt hierbei der zweite Montageschritt. Es ist dementsprechend nicht notwendig ein Nachdrücken zu realisieren.

Die Schenkel der Steckklammer klein werden so weit zusammengedrückt, bis sich die Nasen berühren. Nachfolgend wird diese in die Aussparung der Fügeposition bewegt. Sobald sich die Wölbung unterhalb der Aussparung befindet, wird die Steckklammer klein entlastet und rutscht selbstständig an die endgültige Fügeposition (s. Abb. 19).

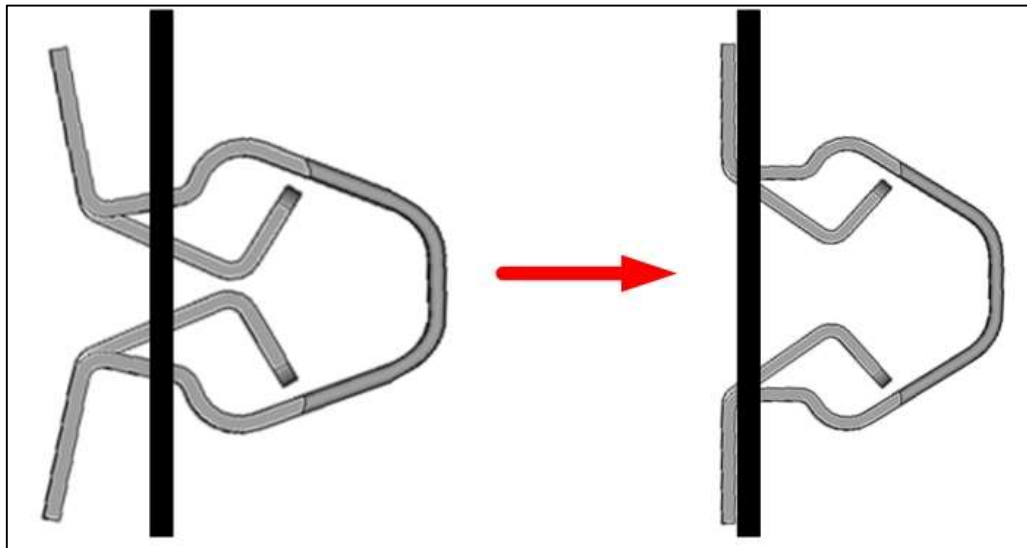


Abb. 19: Fügevorgang Steckklammer klein

3.3.2 Fügekraft

Die Fügekraft der Steckklammer klein ergibt sich aus der Kraft, die benötigt wird, um ihre Schenkel zusammenzudrücken. Zu diesem Zweck wird ein Schenkel eingespannt und um den anderen eine Schlaufe gelegt, an welcher mit einem Federkraftmesser gezogen wird (s. Abb. 20). Die Zugkraft wird solange vergrößert, bis sich die beiden Nasen in der Mitte der Steckklammer klein berühren. Damit ein aussagekräftiges Ergebnis zustande kommt, wird bei jeder Messung eine neue Steckklammer klein eingesetzt.

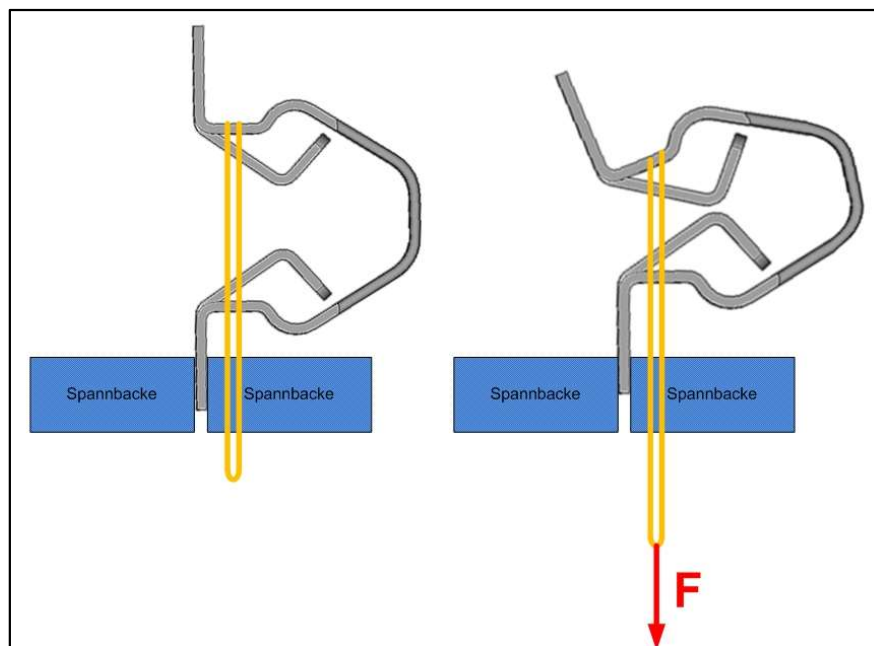


Abb. 20: Versuchsaufbau Fügekraft Steckklammer klein

Die Kraftmessungen ergeben, dass eine minimale Kraft von 12 N und eine maximale von 15 N auf die Steckklammern klein einwirken muss, um die Schenkel ausreichend weit zusammenzudrücken. Da davon ausgegangen wird, dass bei jedem Montagevorgang die maximale Kraft notwendig ist, wird eine Druckkraft von 15 N angewendet. (Die komplette Versuchsreihe ist in Anlage A1 zu finden.)

3.3.3 Umgebung der Fügeposition

Die Konstruktion des Greifers für die Montage der Steckklammern klein kann erst vorgenommen werden, nachdem die Umgebung der Fügepositionen analysiert wurde. Dies wird beispielhaft an der real vorhandenen Mittelkonsole durchgeführt und die gemessenen Werte in eine Zeichnung überführt. Es werden die beiden Fügepositionen vermessen und die geringsten Maße genutzt, um die maximalen Abmessungen des Greifers zu definieren (s. Abb. 21).

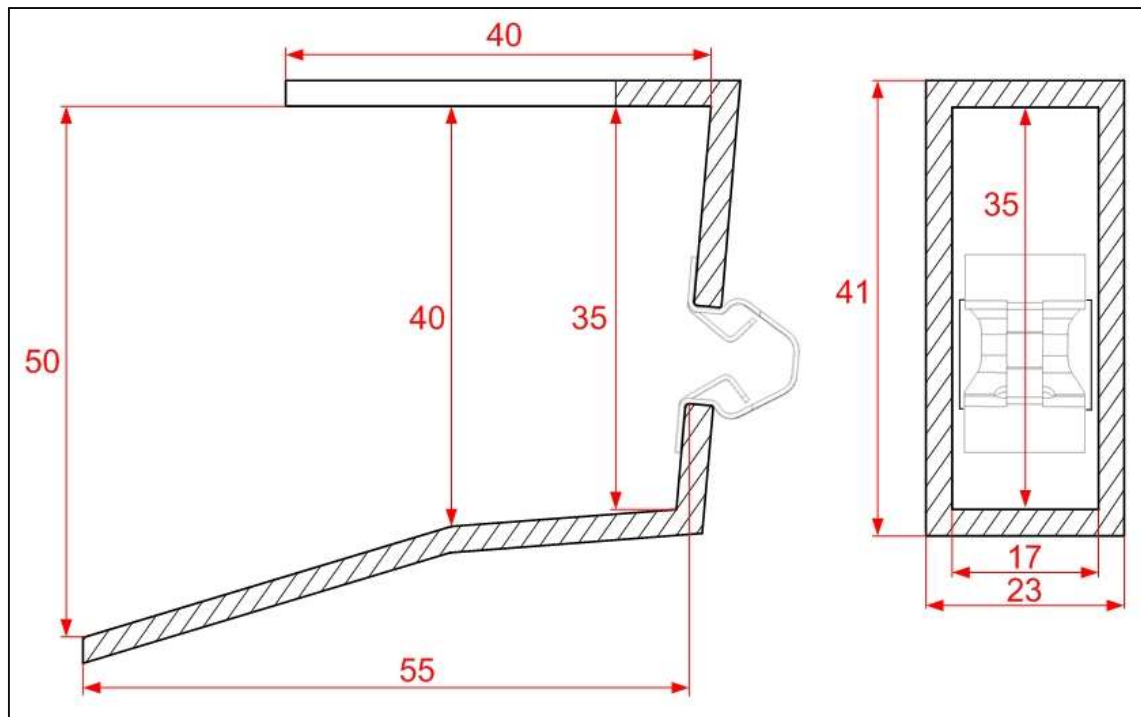


Abb. 21: Abmessungen in der Umgebung der Fügeposition

Mit Hilfe der Fügekräfte und den vorgegebenen Maßen der Fügeposition kann der Greifer konstruiert werden. Bei diesem ist darauf zu achten, dass die Finger nicht zu kurz gestaltet werden, aber auch nicht zu lang, so dass die auftretenden Hebelkräfte so gering wie möglich gehalten werden.

3.4 Greifer (Endeffektor)

Die Entscheidung, wie der Greifer letztendlich aussehen wird, liegt bei dem ausführenden Konstrukteur, da dieser weitere Parameter in die Auslegung einfließen lässt. Diese sind zum Beispiel wirkende Kräfte und Hebel, die Auswahl der Materialien und welche Technik zum Öffnen und Schließen der Greiferbacken eingesetzt wird.

Damit ein geeignetes Ergebnis für die Applikation zu Stande kommt, muss die Untersuchung erfolgen, ob die Möglichkeit besteht, die Greifer zu kombinieren. Da die beiden Steckklammern in Form und Montagemethode ähnlich sind, können diese mit einem gemeinsamen Greifer gehandhabt werden. Der Greifer für die Blechmutter erhält eine andere Form, da die Geometrie und Fügemethode abweichend ist.

Um einen Werkzeugwechsel während dem Ausführen der Applikation zu umgehen, wird basierend auf den beiden Einzelgreifern ein Doppelgreifer entworfen (s. Abb. 22). Mit diesem soll es möglich sein, alle drei Verbindungskomponenten zu montieren. Ob dies ohne Kollision möglich ist, wird in Kapitel 5 (Simulation) untersucht. Ist es mit keinem der dort verwendeten Roboter möglich, eine ausführbare Anwendung nachzustellen, muss eine Änderung der Konstruktion erfolgen.

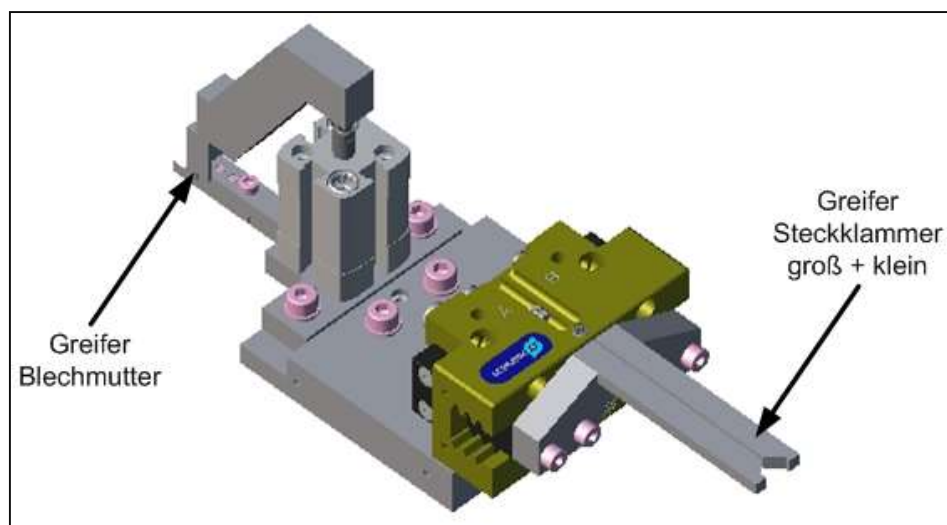


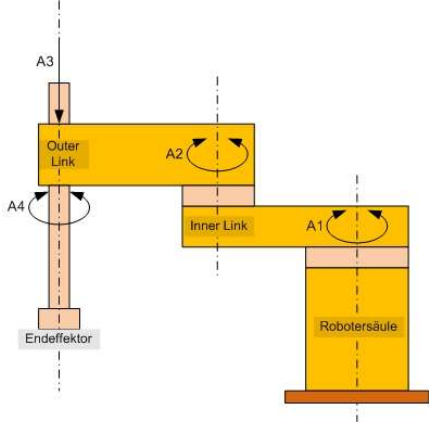
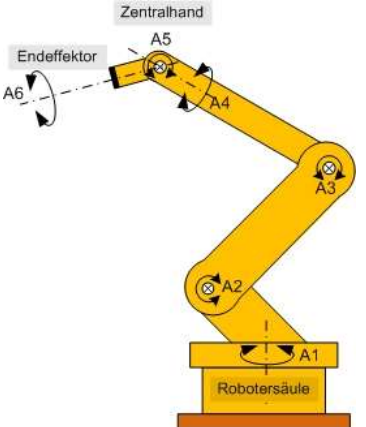
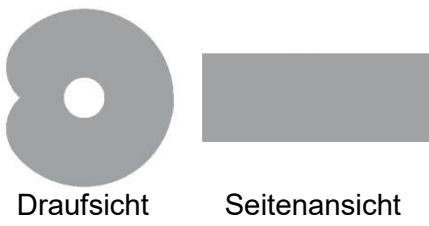
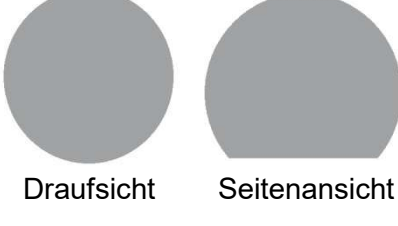
Abb. 22: Doppelgreifer

4 Roboterauswahl

4.1 Vergleich von SCARA-Roboter und 6-Achs-Roboter

Die beiden Roboterarten SCARA-Roboter und 6-Achs-Roboter werden in der Industrie oft verwendet, um Bestückungs- und Montageaufgaben auszuführen. Um eine Auswahl treffen zu können, welcher der beiden Robotertypen in der Applikation eingesetzt werden kann, erfolgt eine Gegenüberstellung dieser beiden (s. Tab. 4). Andere Robotertypen wie zum Beispiel Delta- oder Portalroboter werden in der Betrachtung vernachlässigt, da eine Verwendung von diesen für die vorliegende Applikation nicht von Bedeutung ist.

Tab. 4: Robotervergleich (SCARA-Roboter mit 6-Achs-Roboter)

Eigenschaft	SCARA- Roboter	6-Achs-Roboter
Aufbau (Schema)		
Achsen	A1, A2 und A4 → Rotationsachsen A3 → Translationsachse	A1 bis A6 → Rotationsachsen
Arbeitsraum	offener Hohlzylinder  Draufsicht Seitenansicht	Kugelform  Draufsicht Seitenansicht
Wiederholgenauigkeit¹⁺²	±0,01 mm	±0,02 mm bis ±0,1 mm

Arbeitsgeschwindigkeit¹⁺²	hoch bis sehr hoch A1: 490 °/s bis 1205 °/s A2: 585 °/s bis 1715 °/s A3: 645 mm/s bis 2220 mm/s A4: 1929 °/s bis 3760 °/s	mittel bis hoch A1: 160 °/s bis 435 °/s A2: 160 °/s bis 410 °/s A3: 160 °/s bis 540 °/s A4: 260 °/s bis 995 °/s A5: 260 °/s bis 1065 °/s A6: 400 °/s bis 1445 °/s
Traglast	niedrige Traglasten (bis 10 kg)	sehr hohe Traglasten (größer als 1000 kg)
Anwendungsgebiete	Pick-and-Place (Bsp.: Sortieren, Bestücken, Palettieren) Montage von Kleinteilen	Bauteilhandling Bauteilbearbeitung (Bsp.: Kleben, Punktschweißen, Bolzenschweißen) Prüfen/ Messen

Damit eine Auswahl des Robotertyps durchgeführt werden kann, muss für die vorliegende Applikation die Erreichbarkeit der Fügepositionen in Betracht gezogen werden. Da die Geometrie der Mittelkonsole komplex gestaltet ist, sind nicht alle der Fügepositionen gleich gut erreichbar. Vergleicht man die Zugänglichkeit der kleinen und großen Steckklammern, so ist erkennbar, dass die Fügepositionen der Steckklammern klein nur über eine schmale Zugangsöffnung erreichbar sind. Dagegen liegen die Fügepositionen der großen Steckklammern gut erreichbar außen an der Mittelkonsole. Damit alle Positionen zur Montage einer Verbindungskomponente kollisionsfrei angefahren werden können, benötigt der Roboter eine hohe Beweglichkeit in alle Richtungen. Um entscheiden zu können, ob in diesem Fall ein SCARA- oder ein 6-Achs-Roboter besser geeignet ist, wird die Anzahl der Freiheitsgrade betrachtet.

Der SCARA-Roboter besitzt vier Freiheitsgrade. Diese werden mittels der vorhandenen vier Achsen erreicht. Dabei dienen die Achsen A1, A2 und A3 der Positionierung und die Achse A4 der Orientierung um die z-Achse (A3).

¹ Die Werte für Arbeitsgeschwindigkeiten und Wiederholgenauigkeiten des SCARA-Roboters basieren auf den Angaben der Datenblätter der Firma Stäubli International AG (<http://www.staubli.com> → Roboter → Roboter-Baureihen). Dabei wurden die Robotertypen TS20, TS40, TS60 und TS80 als Grundlage verwendet.

² Die Werte für Arbeitsgeschwindigkeiten und Wiederholgenauigkeiten des 6-Achs-Roboters basieren auf den Angaben der Datenblätter der Firma Stäubli International AG (<http://www.staubli.com> → Roboter → Roboter-Baureihen). Dabei wurden die Robotertypen TX60, TX90 und TX200 als Grundlage verwendet.

Der 6-Achs-Roboter besitzt sechs Freiheitsgrade. Diese entstehen aufgrund der sechs Rotationsachsen. Dabei dienen die Achsen A1, A2 und A3 der Positionierung und die Achsen A4, A5 und A6 der Orientierung.

Da der SCARA-Roboter durch seine geringeren Freiheitsgrade gegenüber dem 6-Achs-Roboter nicht alle Positionen kollisionsfrei erreichen kann, ist dieser für die Applikation ungeeignet.

4.2 Auswahl der Robotergröße (ohne Greifer)

Die Auswahl der Größe eines 6-Achs-Roboters erfolgt über eine Machbarkeitsuntersuchung. Diese wird mit verschiedenen Robotergrößen in der Simulationssoftware Stäubli Robotics Suite 2013 durchgeführt.

Da die Mittelkonsole ein sehr komplexes Bauteil ist, wird diese zur Vereinfachung als Quader verwendet. Der Quader besitzt eine Höhe und Breite von jeweils 260 mm sowie eine Länge von 940 mm und entspricht damit den äußeren Dimensionen der Mittelkonsole. Die Eckpunkte des Quaders liegen nahe an den Fügepositionen der Steckklammern groß und klein. Da diese am ehesten durch die Roboterreichweite ein Problem bei der Erreichbarkeit darstellen, können diese zur RoboterAuswahl genutzt werden (s. Abb. 23).

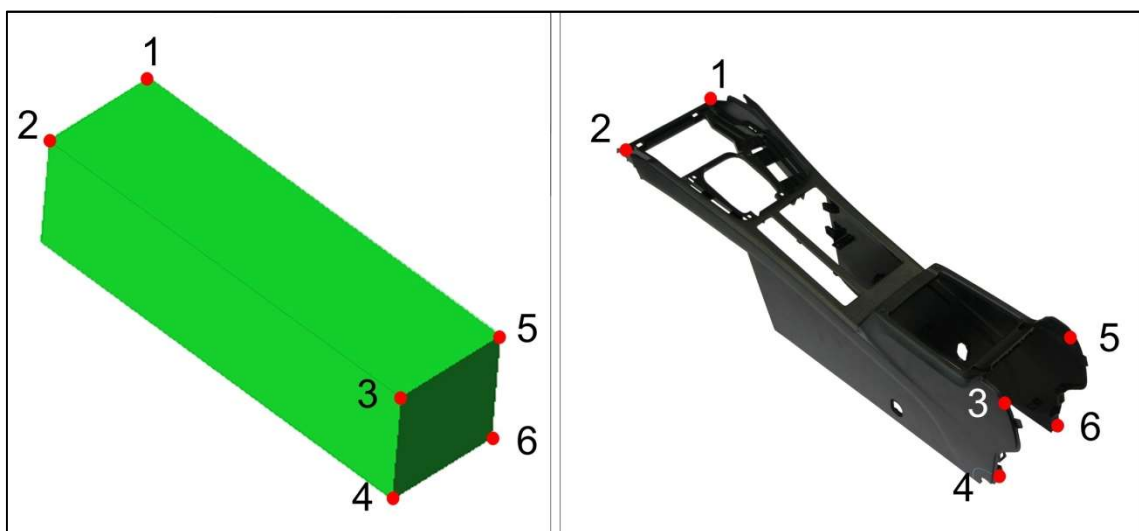


Abb. 23: Vergleich der Quadereckpunkte mit der realen Mittelkonsole

Damit die Roboter in der richtigen Orientierung an die jeweilige Position verfahren werden können, wurden an den Quaderecken Hilfskoordinatensysteme erstellt, auf welche sich der TCP des jeweiligen Roboters ausrichten kann.

Der zu untersuchende Roboter wird nach drei Gesichtspunkten betrachtet. Als erster Schritt wird der Arbeitsraum des Roboters angezeigt, um zu überprüfen, ob die Punkte 1 bis 6 der Mittelkonsole erreicht werden können. Liegen diese innerhalb des Arbeitsraumes, werden im zweiten Schritt diese Punkte angefahren und überprüft, ob es zu Kollisionen kommt. Kollisionen können hierbei zwischen Roboter und Konsole, aber auch zwischen den einzelnen Achsen des Roboters auftreten. Der dritte Schritt der Untersuchung dient dazu, mögliche vorhandene Kollisionen zu umgehen. Dafür wird die Mittelkonsole in unterschiedliche Positionen verschoben und ein nochmaliges Anfahren der Eckpunkte durchgeführt.

Bei allen Untersuchungen befindet sich die Mittelkonsole 300 mm vom Basiskoordinatensystem des Roboters entfernt, damit die Bedingungen vergleichbar sind.

Alle Machbarkeitskontrollen werden mit der Simulationssoftware Stäubli Robotics Suite 2013.4.1 durchgeführt.

4.2.1 Stäubli TX60

Technische Daten

Tab. 5: Stäubli TX60 - Technische Daten [8]

Anzahl Freiheitsgrade	6
Nominale Tragkraft	3,5 kg
Maximale Tragkraft	9 kg
Reichweite	670 mm
Wiederholgenauigkeit	±0,02 mm
Schutzklasse (*Handgelenk)	IP65 (*IP67)

Ein ausführliches Datenblatt ist in Anlage A2 zu finden.

Arbeitsraum

Der durch eine graue transparente Kugel dargestellte Arbeitsraum ist nicht ausreichend groß bemessen, um alle vorgegebenen Eckpunkte der Mittelkonsole zu erreichen. So sind hier die definierten Punkte 2, 3, 4 und 6 nicht vom Arbeitsraum eingeschlossen (s. Abb. 24).

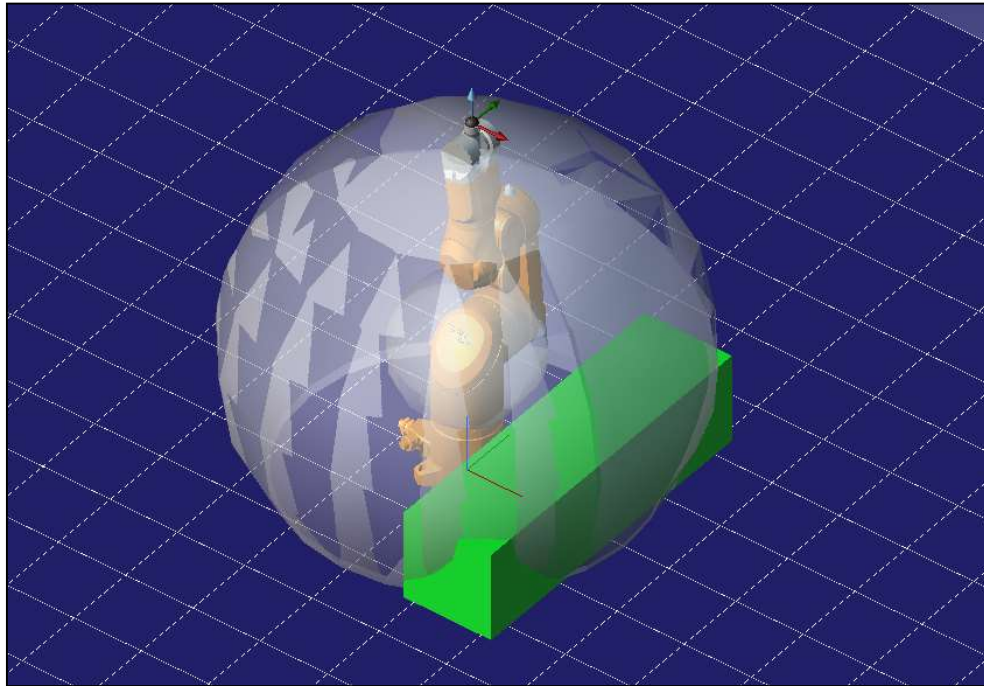


Abb. 24: Staubli TX60 - Arbeitsraum

Erreichbarkeit der Eckpunkte

Wie durch die Kontrolle des Arbeitsraumes erkenntlich wird, sind vier von sechs Eckpunkten der Mittelkonsole nicht erreichbar. Somit wird auf die Untersuchung der Erreichbarkeit der Eckpunkte an dieser Stelle verzichtet.

Erreichbarkeit der Eckpunkte ohne Kollision

Da es mit dem Staubli TX60 nicht möglich ist, alle sechs Eckpunkte zu erreichen, wird die Mittelkonsole mittels Translation an verschiedene Positionen bewegt. An diesen soll es möglich sein, den TCP des Roboters an die relevanten Punkte kollisionsfrei zu verfahren. Dafür muss die Mittelkonsole nach rechts bzw. links verschoben werden, um die Punkte der jeweiligen Mittelkonsolenseite in den Arbeitsraum des Staubli TX60 zu bewegen. Dabei geht die Größe der Verschiebung immer vom Mittelpunkt der Konsole und dem Basekoordinatensystem des Roboters aus. An wie viele verschiedene Positionen die Mittelkonsole verschoben werden muss und ob dann an diesen ein kollisionsfreies Anfahren der Eckpunkte möglich ist, wird nachfolgend untersucht.

Die Erreichbarkeit wird zuerst an der nach 600 mm nach links verschobenen Mittelkonsole durchgeführt, um die Punkte 1 und 2 kollisionsfrei anzufahren (s. Abb. 25).

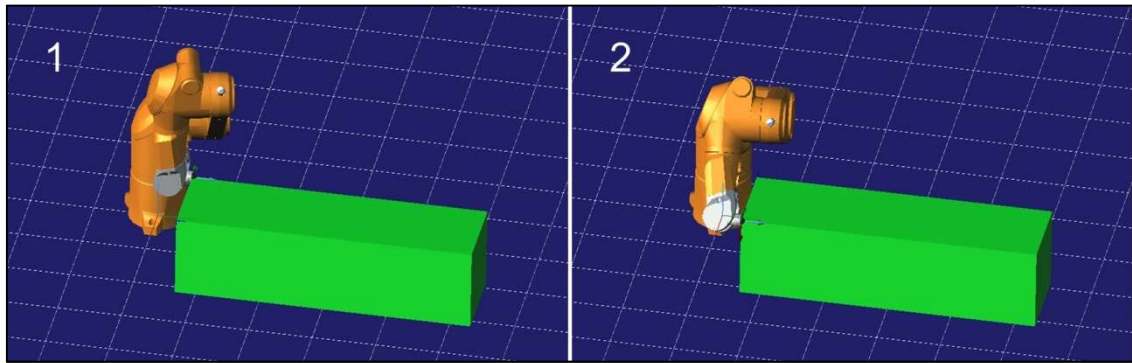


Abb. 25: Stäubli TX60 - 600 mm nach links verschobene Mittelkonsole

Im nächsten Schritt wird die Mittelkonsole um 600 mm nach rechts verschoben, damit die Punkte 3 bis 6 angefahren werden können. Dabei zeigt sich, dass die Punkte 3 bis 5 ohne Kollision erreichbar sind. Beim Anfahren des Punktes 6 kommt es zu einem Eindringen des Roboters in die Mittelkonsole (s. Abb. 26). Diese kann nur vermieden werden, wenn die Mittelkonsole um weitere 100 mm nach rechts bewegt wird. Ist die Mittelkonsole um insgesamt 700 mm verschoben, können die Punkte 3 und 4 nicht mehr erreicht werden, da diese sich außerhalb des Arbeitsraumes befinden.

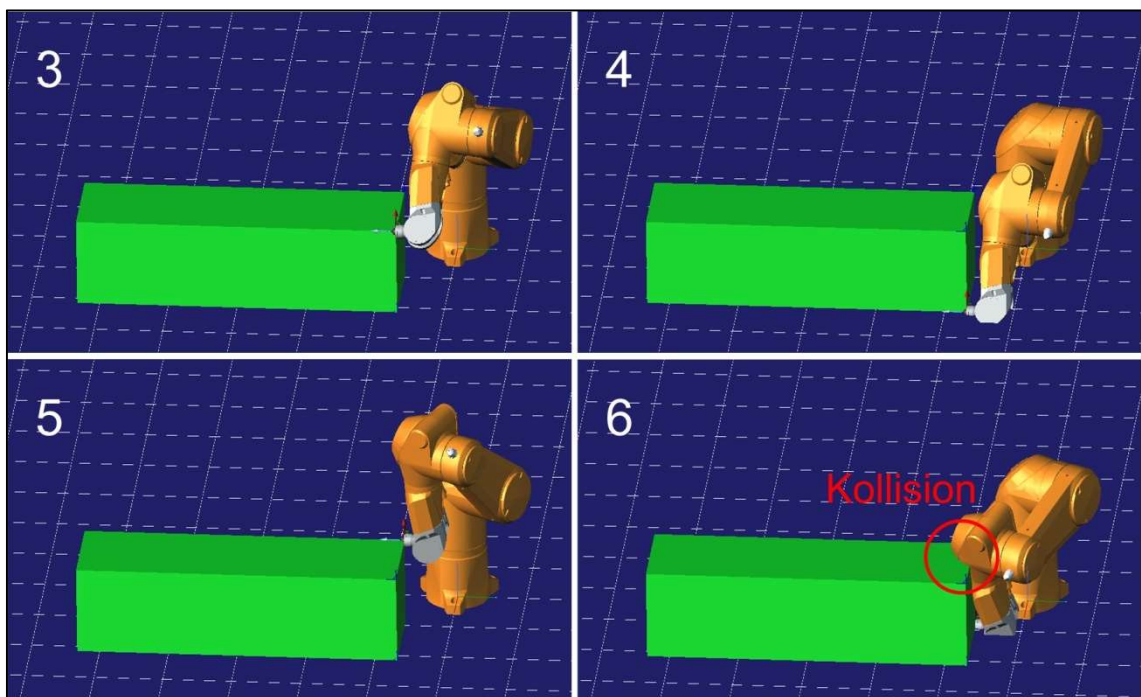


Abb. 26: Stäubli TX60 - 600 mm nach rechts verschobene Mittelkonsole

Dem Stäubli TX60 ist es demzufolge nur möglich, alle Eckpunkte kollisionsfrei zu erreichen, wenn sich die Mittelkonsole ihm gegenüber an drei verschiedenen Positionen befindet (s. Abb. 27).

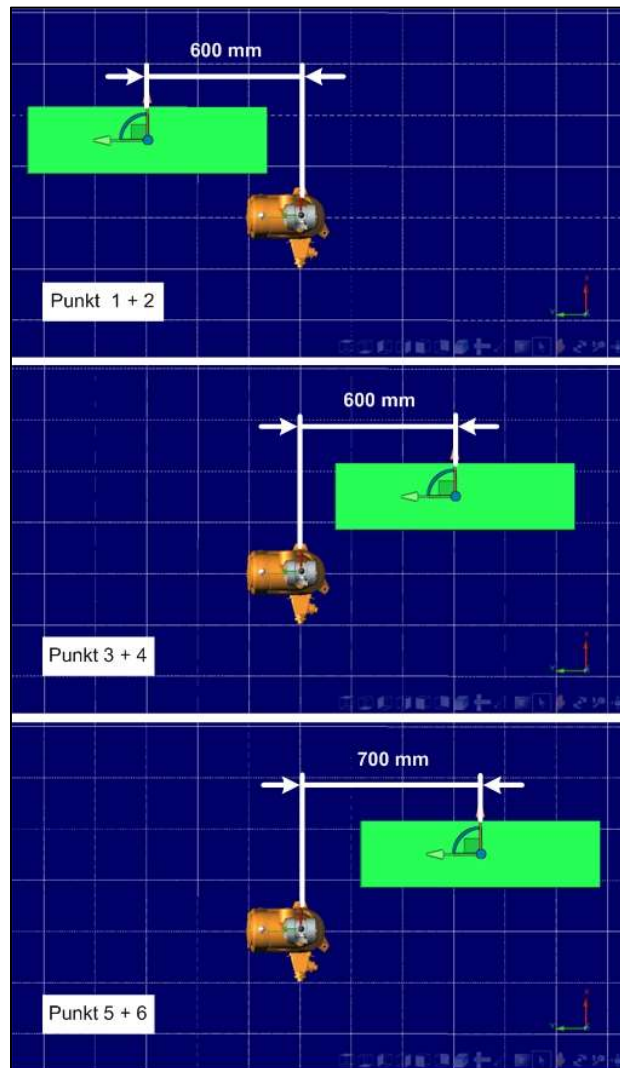


Abb. 27: Staubli TX60 - Positionen Mittelkonsole

4.2.2 Staubli TX60L

Technische Daten

Tab. 6: Staubli TX60L - Technische Daten [8]

Anzahl Freiheitsgrade	6
Nominale Tragkraft	2 kg
Maximale Tragkraft	5 kg
Reichweite	920 mm
Wiederholgenauigkeit	±0,03 mm
Schutzklasse (*Handgelenk)	IP65 (*IP67)

Ein ausführliches Datenblatt ist in Anlage A2 zu finden.

Arbeitsraum

Der Arbeitsraum des Stäubli TX60L ist durch die erhöhte Reichweite des Roboterarms ausreichend groß bemessen, um alle sechs Eckpunkte der Mittelkonsole zu erreichen (s. Abb. 28).

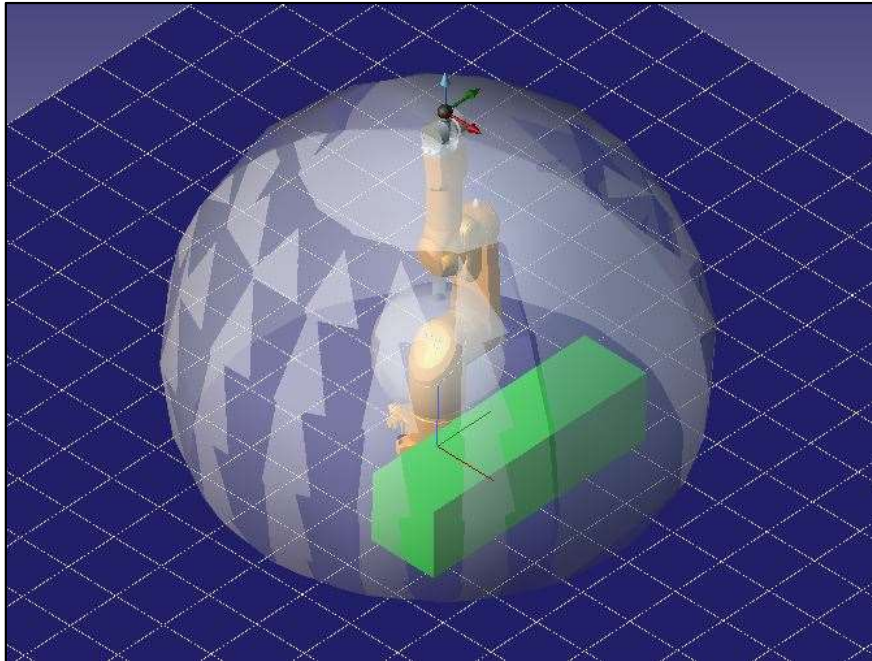


Abb. 28: Stäubli TX60L - Arbeitsraum

Erreichbarkeit der Eckpunkte

Die Punkte 2 und 6 können kollisionsfrei angefahren werden. Bei den anderen vier Punkten ist dies nicht möglich (s. Abb. 29). Die Berührungen zwischen Roboter und Mittelkonsole können nur vermieden werden, wenn diese an verschiedene Positionen bewegt wird.

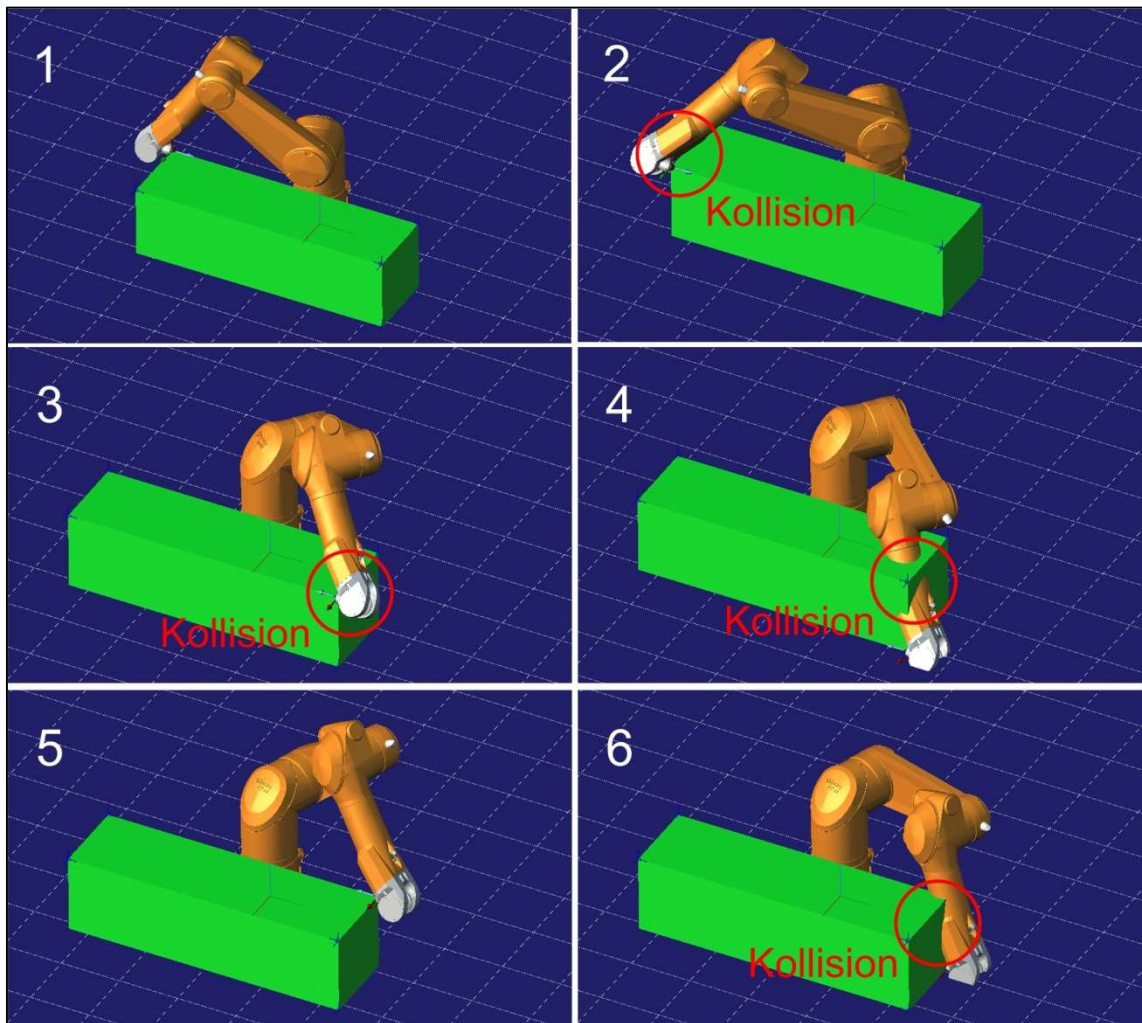


Abb. 29: Staubli TX60L - Erreichbarkeit der Eckpunkte

Erreichbarkeit der Eckpunkte ohne Kollision

Da die Eckpunkte der Mittelkonsole an einer Position stehend nicht ohne Kollision angefahren werden können, wird diese verschoben.

Um die Punkte 1 und 2 berührungslos erreichen zu können, wird die Mittelkonsole um 150 mm nach links verschoben (s. Abb. 30).

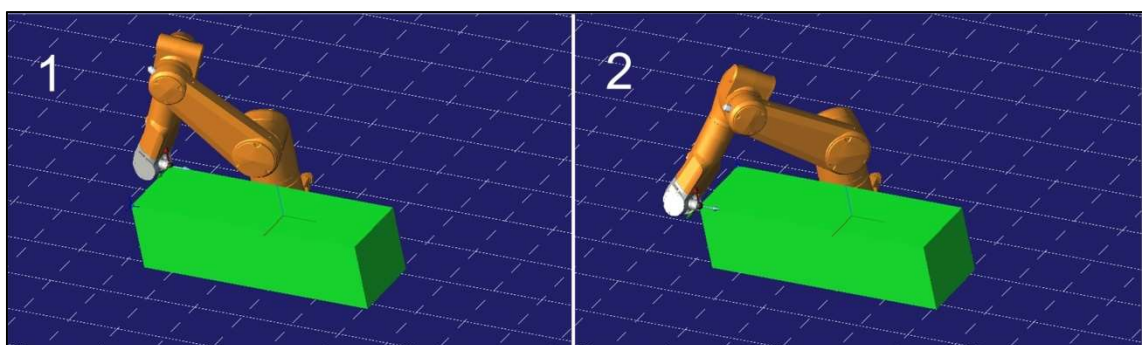


Abb. 30: Staubli TX60L - 150 mm nach links verschobene Mittelkonsole

Zum Erreichen der Punkte 1 bis 4 ist eine Translation von 450 mm nach rechts erforderlich (s. Abb. 31).

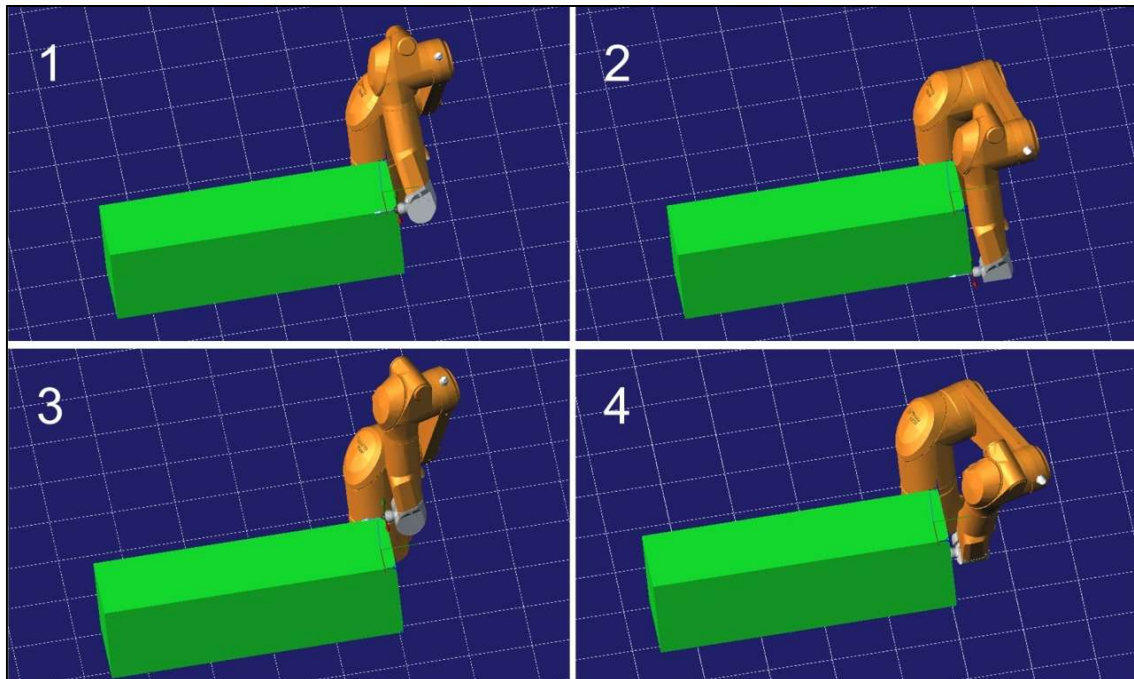


Abb. 31: Stäubli TX60L - 450 mm nach rechts verschobene Mittelkonsole

Dem Stäubli TX60L ist es nur möglich, alle Eckpunkte zu erreichen, wenn sich die Mittelkonsole ihm gegenüber an zwei verschiedenen Positionen befindet (s. Abb. 32).

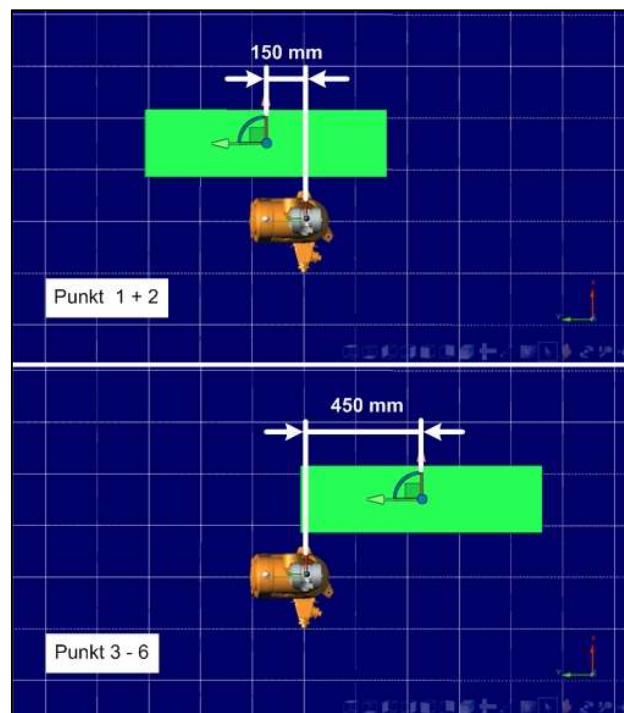


Abb. 32: Stäubli TX60L - Positionen Mittelkonsole

4.2.3 Stäubli TX90XL

Technische Daten

Tab. 7: Stäubli TX90XL - Technische Daten [9]

Anzahl Freiheitsgrade	6
Nominale Tragkraft	5 kg
Maximale Tragkraft	9 kg
Reichweite	1450 mm
Wiederholgenauigkeit	±0,04 mm
Schutzklasse (*Handgelenk)	IP65 (*IP67)

Ein ausführliches Datenblatt ist in Anlage A3 zu finden.

Arbeitsraum

Der Arbeitsraum des Stäubli TX90XL ist aufgrund seiner Reichweite von 1450 mm sehr groß bemessen und ermöglicht es, problemlos alle Punkte der Mittelkonsole zu erreichen (s. Abb. 33).

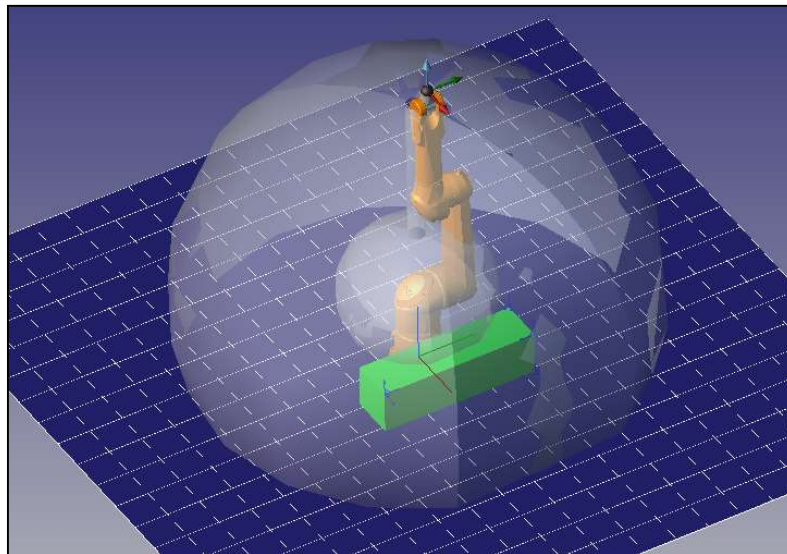


Abb. 33: Stäubli TX90XL - Arbeitsraum und vereinfachte Mittelkonsole

Erreichbarkeit der Punkte

Der Stäubli TX90XL erreicht alle sechs Eckpunkte ohne Kollision (s. Abb. 34). Somit ist es möglich, die Verbindungskomponenten ohne eine Bewegung der Mittelkonsole während des Fügeprozesses zu montieren (s. Abb. 35).

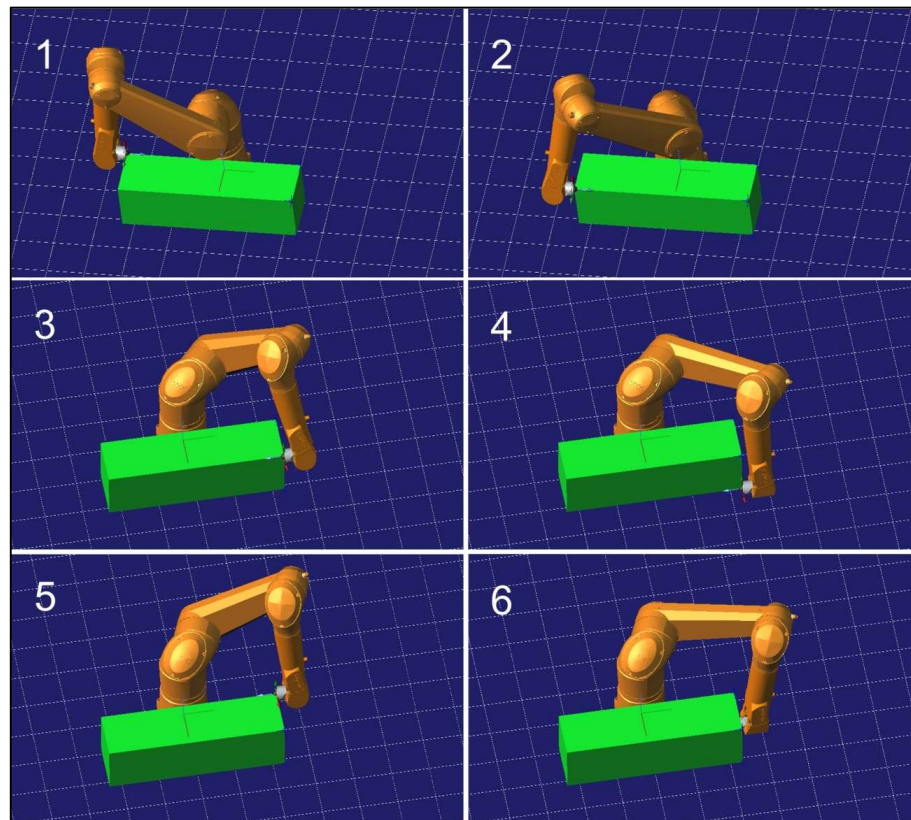


Abb. 34: Staubli TX90XL - Erreichbarkeit der Eckpunkte

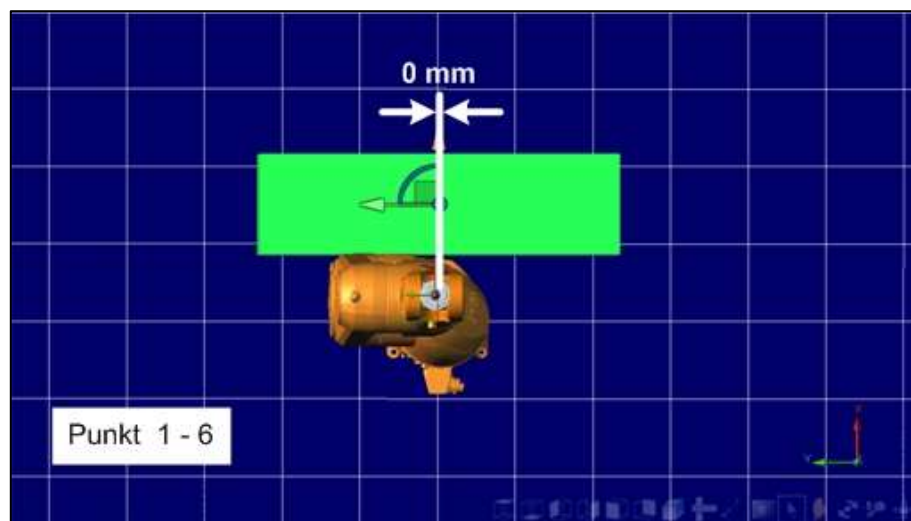


Abb. 35: Staubli TX90XL - Position Mittelkonsole

4.2.4 Ergebnis der RoboterAuswahl

Die Auswahl der Robotergröße ergab, dass mit jedem der drei untersuchten Roboter ein Montageprozess durchgeführt werden kann. Je nach Ausdehnung des Arbeitsraumes müssen unterschiedliche Bedingungen vorhanden sein, um eine Erreichbarkeit aller Fügepositionen zu ermöglichen.

Die drei entstehenden Varianten werden mit angebautem Werkzeug in der Simulation näher untersucht, um zu prüfen, ob die Bewegungsbahnen und Montagen kollisionsfrei ausgeführt werden können.

Variante 1

Bei der ersten Variante werden ein Stäubli TX60 und eine Linearachse mit drei Anschlägen benötigt. Diese sind notwendig, damit die Mittelkonsole an drei definierten Positionen vor dem Roboter zum Stillstand kommt, um die jeweiligen Verbindungskomponenten zu fügen.

Variante 2

Bei der zweiten Variante werden ein Stäubli TX60L und eine Linearachse mit zwei Anschlägen benötigt. Diese sind notwendig, um die Mittelkonsole an zwei definierten Positionen vor dem Roboter zu fixieren, an denen die jeweiligen Verbindungskomponenten montiert werden.

Variante 3

Bei der dritten Variante werden ein Stäubli TX90XL und eine Linearachse mit einem Anschlag benötigt. Dieser ist notwendig, um die Mittelkonsole an einer definierten Position vor dem Roboter zum Stillstand zu bringen. An dieser werden alle Verbindungskomponenten gefügt.

Robotervergleich

Tab. 8: Vergleich Stäubli TX60 - Stäubli TX60L - Stäubli TX90XL

Kriterium	Stäubli TX60	Stäubli TX60L	Stäubli TX90XL
Tragkraft nominal [kg]	3,5	2	5
Tragkraft maximal [kg]	9	5	9
Wiederholgenauigkeit [mm]	±0,02	±0,03	±0,04
Reichweite [mm]	670	920	1450
Preis [€]³	36.270	36.985	45.895

³ Stäubli Preisliste (Stand: 21.12.2011)

Die nominale Tragkraft gibt an, wie viel der Roboter an Zusatzlast tragen kann, wenn er mit seiner maximalen Geschwindigkeit verfahren wird. Bei diesem Kriterium ist zu beachten, dass der konstruierte Greifer ein Gewicht von 2,7 kg besitzt und somit nur zwei der untersuchten Roboter verwendet werden können.

Wird die maximale Tragkraft betrachtet, ist die Bedingung zu erfüllen, dass der Roboter mit nicht mehr als 60 % seiner Maximalgeschwindigkeit betrieben wird. Somit ist es möglich, jeden der drei Roboter zu nutzen. Je nachdem, wie viel Zeit für den Montagevorgang vorgesehen ist, kann die maximale Tragkraft eingesetzt werden. Ist es nicht möglich, mit der reduzierten Geschwindigkeit die geforderte Zeit einzuhalten, muss die nominale Tragkraft als Kriterium genutzt werden.

Die Wiederholgenauigkeit gibt an, wie groß die Streuung der angefahrenen Positionen untereinander ist, wenn eine programmierte Sollposition wiederholt von ein und derselben Startposition aus angefahren wird [9].

Bei den drei Robotern ist die Wiederholgenauigkeit ausreichend gering. Selbst im ungünstigsten Fall wird die programmierte Sollposition um nur 0,04 mm verfehlt. Die Verbindungskomponenten können auch mit einem geringen Versatz zur Sollposition gefügt werden. Somit ist die Wiederholgenauigkeit für keinen der Roboter ein Ausschlusskriterium.

Wie bereits gezeigt, ist die Reichweite eines Roboters ebenfalls kein Ausschlusskriterium, da mit Verschiebung der Mittelkonsole eine Erreichbarkeit ermöglicht wird. Da die Reichweite eines Roboters aus seiner Größe entsteht, wäre nur durch begrenzten Bau- und Arbeitsraum dieses Kriterium in der Entscheidung zu bedenken.

Die Preise der drei Roboter sind mit einem Unterschied von 9625 € als eher unwichtiges Kriterium zu sehen, da es auf Grund von vielen weiteren Kosten zu keiner großen Preisabweichung kommen wird.

Welche Variante und welcher Roboter schlussendlich zum Einsatz kommen, hängt von weiteren Faktoren ab, die nicht definiert sind. Dies sind zum Beispiel die räumlichen Maße der Roboterzelle, die geforderte Taktzeit und die maximalen Kosten für das Komplettsystem.

5 Simulation

5.1 Programmablaufplan

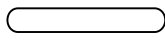
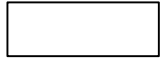
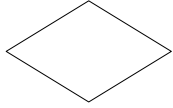

5.1.1 Definition

Der Programmablaufplan ist die grafische Darstellung zur Umsetzung von Algorithmen. Es wird eine Abfolge von Anweisungen und Entscheidungen erstellt, die zur Lösung einer Aufgabe führen. [10]

5.1.2 Symbole

Ein Programmablaufplan wird mit allgemeinverständlichen Symbolen nach DIN 66001 erstellt. In der folgenden Tabelle sind die Symbole dargestellt und erklärt, die in den erarbeiteten Programmablaufplänen Anwendung finden (s. Tab. 9).

Tab. 9: Symbolerklärung [10]

Symbol	Bedeutung	Beschreibung
	Start/Ende	Definiert Start- und Endpunkt des Programmablaufplans
	Anweisung	auszuführende Aktion
	Entscheidung	Ja-Nein-Abfrage einer Bedingung
	Verbindung	Verbindung zum nächsten Element

5.1.3 Programmablaufplan Grundaufbau

Unter diesem Gliederungspunkt soll der Ablauf der drei erstellten Programmablaufpläne erklärt werden, da diese sich vom Grundaufbau nicht unterscheiden. Die Strukturen für die einzelnen Roboter sind in den folgenden drei Gliederungspunkten (5.1.4, 5.1.5 und 5.1.6) zu finden.

Die Abfolge der einzelnen Schritte erfolgt von links oben nach rechts unten, was durch die beiden roten Ovale (Start und Ende) gekennzeichnet ist. Zu erkennen ist, dass es sich um einen zweigeteilten Ablauf handelt. Dabei steuert die schwarze Struktur die Schrittkette des Roboters und der hellblaue Pfad bestimmt die Bewegung der Mittelkonsole.

Die Abfrage der Zähler i , n und k im hellblauen Pfad lässt erkennen, dass die Bewegung der Mittelkonsole vom Roboter aus kontrolliert wird, da diese nur in der Struktur des Roboters erhöht werden kann. Die Mittelkonsole verharrt somit an einer Position, bis der Roboter den notwendigen Zählerwert erreicht hat.

Die Struktur des Roboterablaufs ist komplexer, da über ihn die Steuerung der gesamten Applikation geschieht. Um eine optische Abgrenzung der Montage der einzelnen Verbindungskomponenten zu erreichen, wurde dieser in drei Blöcke aufgeteilt, die jeweils den gleichen Grundaufbau besitzen.

Der erste Schritt ist das Verfahren des Roboters zur Entnahmeposition der jeweiligen Verbindungskomponente. An dieser Stelle wird eine Abfrage durchgeführt, ob ein Bauteil vorhanden ist oder nicht. Ist kein Bauteil vorhanden, soll hier das Programm solange pausieren, bis die entstandene Fehlermeldung quittiert wird und Bauteile zur Montage vorhanden sind. Wird ein Bauteil aufgenommen, muss nachfolgend abgefragt werden, ob die Mittelkonsole an der korrekten Position für die Montage ist. Ist dies nicht der Fall, wird die Abfrage solange wiederholt, bis die Mittelkonsole positioniert ist. Befindet sich die Mittelkonsole an der Montageposition, darf der Roboter zur entsprechenden Fügeposition verfahren und die Verbindungskomponente an der Mittelkonsole montieren. Sobald die Verbindungskomponente montiert ist, wird eine Abfrage gestellt, welchen Wert der Zähler aktuell besitzt. Ist der Höchstwert des Zählers noch nicht erreicht, wird dieser um 1 erhöht und die Schleife von neuem, mit dem Anfahren der entsprechenden Entnahmeposition, begonnen. Wenn der Zähler den Höchstwert erreicht, wird er zur Entnahmeposition der nächsten Verbindungskomponente verfahren. Wurde die letzte Verbindungskomponente im dritten Block montiert, verfährt der Roboter in seine Endposition und beendet den aktuellen Auftrag. Diese Endposition dient gleichzeitig als Startposition für einen neuen Auftrag.

Da aufgrund der Zähler die Fügepositionen neue Bezeichnungen erhalten, wird in der folgenden Tabelle die Zuordnung aufgezeigt (s. Tab. 10).

Tab. 10: Zuordnungstabelle: Fügepositionen alt - Fügepositionen neu

Fügeposition (FP) alt	Fügeposition (FP) neu
1	1 (1)
2	1 (2)
3	2 (1)
4	2 (2)
5	2 (3)
6	2 (4)
7	3 (1)
8	3 (2)
9	3 (3)
10	3 (4)

Die neuen Fügepositionen sind mit den Zahlen 1, 2 und 3 und einer Zahl in Klammern bezeichnet. Hierbei stehen die Zahlen 1 für Blechmutter, 2 für Steckklammer (klein) und 3 für Steckklammer (groß). Die Zahlen in Klammern bestimmen die Anzahl der zu fügenden Verbindungskomponenten und werden jeweils bis zur maximalen Anzahl hochgezählt.

Diese Neubezeichnung erfolgt, um eine bessere Verständlichkeit der folgenden Programmablaufpläne zu ermöglichen, da in diesen die Anzahl der jeweils zu montierenden Verbindungskomponenten mit Zählschleifen überwacht und gesteuert wird.

5.1.4 Programmablaufplan Stäubli TX60

Der folgende Programmablaufplan wurde für die Montage der Verbindungskomponenten mit einem Stäubli TX60 entworfen (s. Abb. 36). Die Abbildung ist in einer größeren Darstellung in Anlage A4 zu finden.

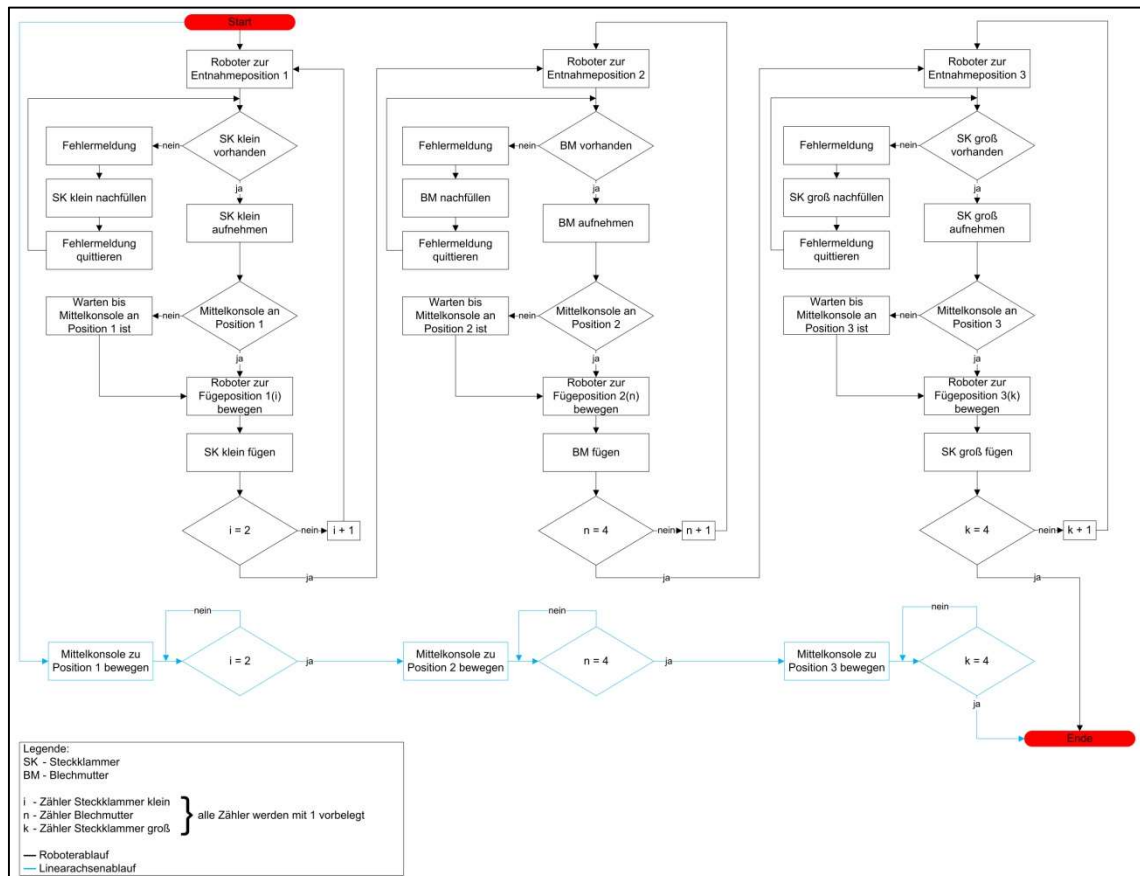


Abb. 36: Programmablaufplan Stäubli TX60

Mit Start des Programmablaufs wird die Mittelkonsole an die erste Montageposition befördert. An dieser werden die beiden Steckklammern klein montiert. Sobald dies geschehen ist, nimmt der Zähler i den Wert 2 an. Gleichzeitig ist dies die Bedingung, um die Mittelkonsole an die zweite Montageposition zu fahren. An dieser werden die vier Blechmuttern befestigt und der Zähler n somit auf 4 erhöht. Dies wiederum stellt die Bedingung zum Weiterverfahren der Mittelkonsole an Position 3 dar. Dort werden die vier Steckklammern groß montiert und der Zähler k auf 4 erhöht. Damit wird der aktuelle Programmablauf beendet.

5.1.5 Programmablaufplan Stäubli TX60L

Der folgende Programmablaufplan wurde für die Montage der Verbindungskomponenten mit einem Stäubli TX60L entworfen (s. Abb. 37). Die Abbildung ist in einer größeren Darstellung in Anlage A5 zu finden.

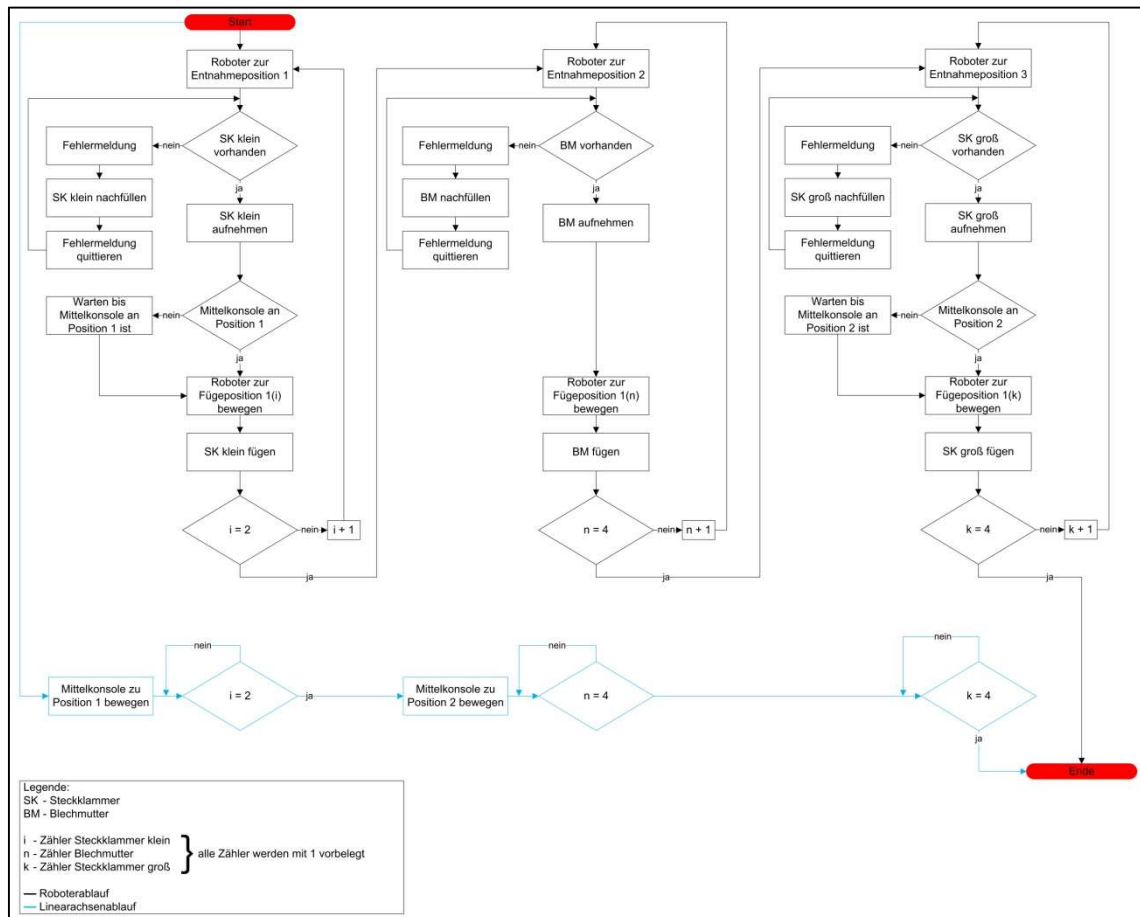


Abb. 37: Programmablaufplan Stäubli TX60L

Mit Start des Programmablaufs wird die Mittelkonsole an die erste Montageposition befördert. An dieser werden die beiden Steckklammern klein montiert. Sobald dies geschehen ist, nimmt der Zähler i den Wert 2 an. Gleichzeitig ist dies die Bedingung, um die Mittelkonsole an die zweite Montageposition zu fahren. An dieser werden die Blechmuttern und Steckklammern groß gefügt. Dabei werden die beiden Zähler n und k auf 4 erhöht, was zum Beenden des aktuellen Programmablaufs führt.

5.1.6 Programmablaufplan Stäubli TX90XL

Der folgende Programmablaufplan wurde für die Montage der Verbindungskomponenten mit einem Stäubli TX90XL entworfen (s. Abb. 38). Die Abbildung ist in einer größeren Darstellung in Anlage A6 zu finden.

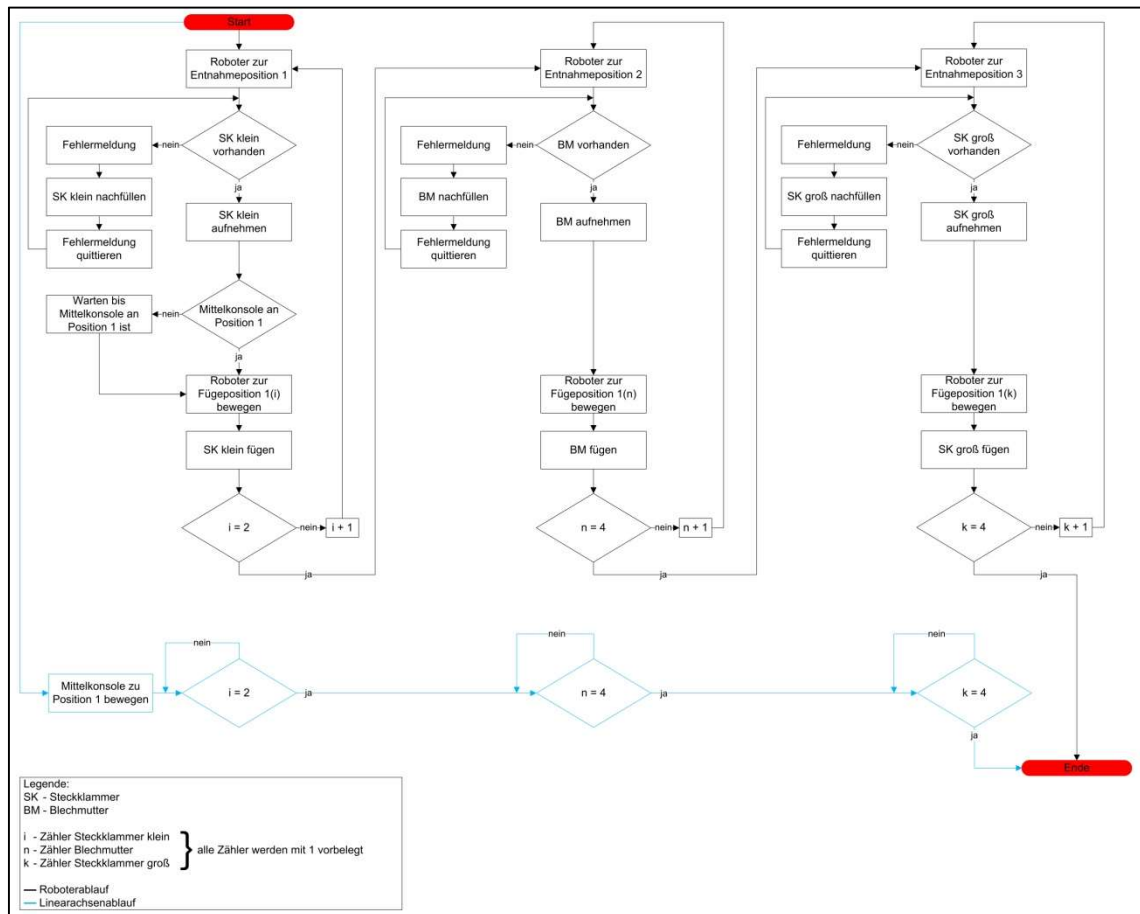


Abb. 38: Programmablaufplan Stäubli TX90XL

Mit Start des Programmablaufs wird die Mittelkonsole an die erste Montageposition befördert. An dieser werden alle Verbindungskomponenten montiert und deren Zähler auf den Höchstwert ($i = 2$, $n = 4$ und $k = 4$) gesetzt, somit der Programmablauf nachfolgend beendet.

5.2 Simulationen

Die Simulationen werden mit der Software Stäubli Robotics Suite 2013.4.6 erstellt.

5.2.1 Simulationsumgebung

Damit eine realistische Beispielumgebung für die Applikation entsteht, wird diese mit Hilfe der Modellierungsfunktion innerhalb des Programms erstellt. Dabei werden mittels geometrischer Körper, wie Quader und Zylinder, Entnahmepositionen und ein Aufnahmegestell für das Kamerasystem konstruiert (s. Abb. 39). Die Entnahmepositionen dienen dem Roboter als Anhaltspunkte, an denen die einzelnen Verbindungskomponenten aufgenommen werden. Sie stellen, ebenso wie das Gestell des

Kamerasystem, Kollisionskörper dar, welche die Bewegungsbahn des Roboters beeinflussen.

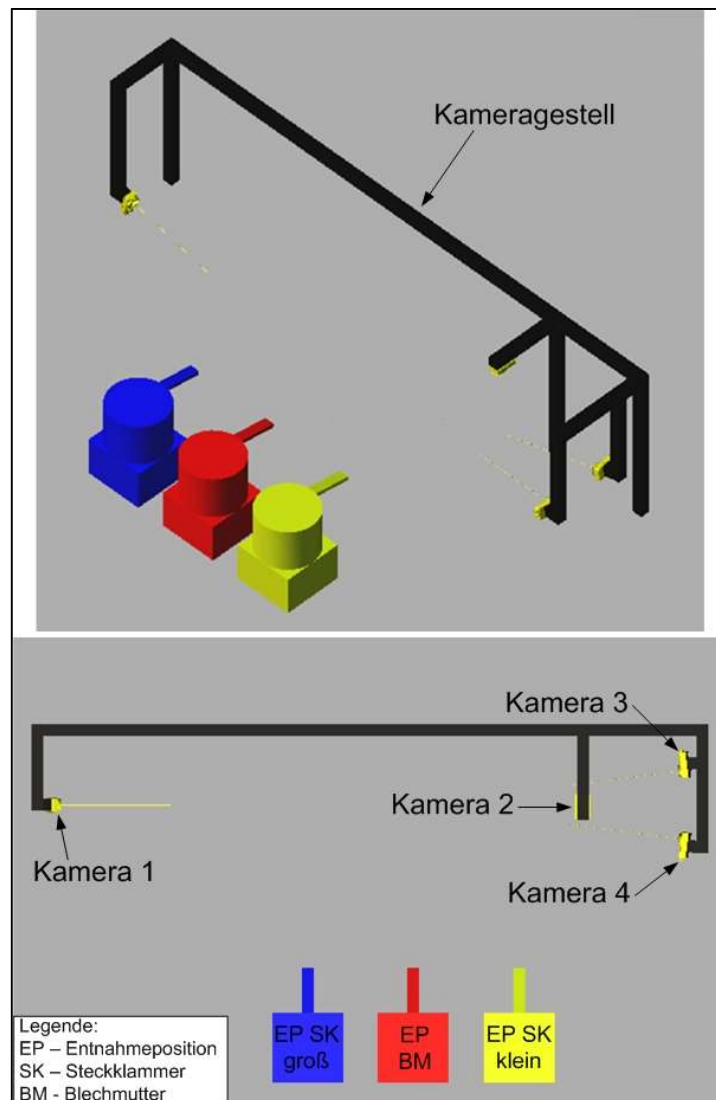


Abb. 39: Aufbau Kamerasystem und Entnahmepositionen

Die Mittelkonsole wird mit Hilfe der einfachen geometrischen Körper erstellt, da ein Modell des Originalteils nicht als CAD-Datei vorhanden ist. So wird mit Quadern die Grundform der Mittelkonsole nachgebildet, welche sich von den Grundabmaßen nicht vom Original unterscheidet (s. Abb. 40). Damit in der Simulation überprüft werden kann, ob die Fügepositionen kollisionsfrei mit dem konstruierten Greifer zu erreichen sind, wird in diesen Bereichen detaillierter modelliert.

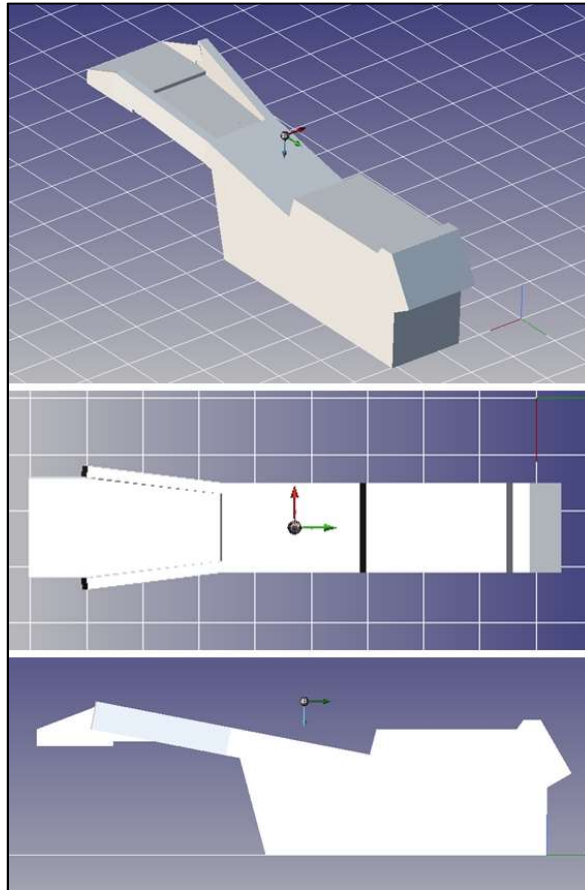


Abb. 40: Mittelkonsole in perspektivischer Ansicht, Draufsicht und Seitenansicht

Um die Simulationsumgebung zu vervollständigen, sind der Roboter und der konstruierte Greifer zu importieren. Da diese beiden Komponenten noch nicht gemeinsam bewegt werden können, müssen sie verbunden werden. Dies geschieht, indem man dem Greifer ein Handle an die Anflanschplatte positioniert. Dabei handelt es sich um ein Koordinatensystem, welches sich in Position und Orientierung frei verschieben lässt. Der Roboter enthält das passende Gegenstück, den Handler, der sich am Roboterflansch befindet. So ist es möglich, Handle und Handler miteinander zu paaren und so eine Verbindung zwischen Roboter und Greifer zu schaffen (s. Abb. 41).

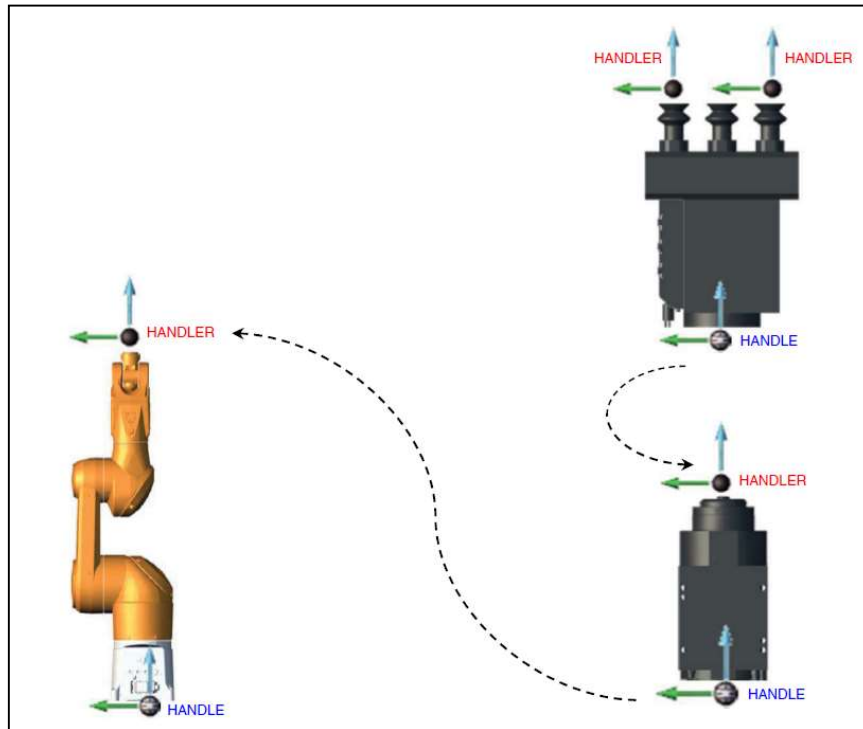


Abb. 41: Zuordnung von Handle zu Handler [9]

In der simulierten Applikation wird ein Doppelgreifer verwendet, der zwei verschiedene TCP erhält. Diese werden über Handler definiert. Ebenso wie ein Handle ist dieser in Position und Orientierung frei bewegbar und kann an der gewünschten Stelle positioniert werden.

Damit die Fügepositionen in der Simulation mit den Originalen übereinstimmen, werden diese an der vorhandenen Mittelkonsole ausgemessen. Nachfolgend werden sie mittels Hilfskoordinatensystemen in Position und Orientierung an der modellierten Mittelkonsole angetragen. Mit Hilfe dieser Hilfskoordinatensysteme ist es möglich, die für den Roboter notwendigen Punkte zu erstellen, die während seiner programmierten Bewegung angefahren werden, um eine Verbindungskomponente zu fügen.

5.2.2 Programmablauf

Die Simulation des Montagevorgangs der Verbindungskomponenten wird über einen Programmablauf gesteuert. Da eine Betrachtung möglicher Fehlerfälle nicht notwendig ist, werden diese Programmteile nicht erstellt.

Dem Roboter werden Bewegungsbefehle übermittelt, die dieser schrittweise ausführt. Diese benötigen jeweils einen Endpunkt, eine Angabe, welches Tool genutzt wird, und eine definierte Bewegungsgeschwindigkeit. Diese drei Parameter müssen als globale

Variable angelegt werden, damit sie nachfolgend im Programm angewendet werden können.

Für jeden Punkt, der während der Simulation angefahren werden soll, muss eine Variable erstellt werden, die mit Positions- und Orientierungsdaten belegt wird. Die Fügepositionen werden dabei zuerst erstellt, indem die Hilfskoordinatensysteme angefahren werden und deren Daten an die Variable übergeben werden. Da der Roboter in der Simulation nicht einfach an die Fügeposition verfahren wird, werden jeweils Vorposition und Supervorposition bestimmt. Dies ist notwendig, damit Kollisionen vermieden werden. Weiterhin werden Start- und Endpunkt der Simulation definiert. Diese besitzen die gleiche Position, da sie Anfang und Ende eines Auftrages darstellen.

Nachdem alle notwendigen Punkte definiert sind, können die verschiedenen Tool-Variablen angelegt werden. Da es sich bei dem verwendeten Werkzeug um einen Doppelgreifer handelt, werden zwei Tool-Variablen benötigt. Diese werden mit den Daten der beiden bereits definierten TCP belegt und können je nach zu montierender Verbindungskomponente ausgewählt werden. Start- und Endpunkt sollen unabhängig von diesen beiden TCP angefahren werden. Zu diesem Zweck wird eine dritte Tool-Variable mit den Werten des Roboterflanschs erstellt.

Die Definition mehrerer Geschwindigkeiten ist notwendig, da es für verschiedene Aufgaben relevant ist, den Roboter unterschiedlich schnell zu verfahren. So wird beim Fügen einer Verbindungskomponente eine geringere Geschwindigkeit genutzt als beim Verfahren zwischen zwei Punkten im Raum. Ebenso darf eine Verbindungskomponente nicht mit voller Geschwindigkeit aufgenommen werden, sondern es muss eine langsame Annäherung geschehen, um eine Kollision zu vermeiden. Innerhalb der Software ist bereits eine Geschwindigkeit hinterlegt, die dem Maximum entspricht. Um die Geschwindigkeit der Entnahme und der Montage festzulegen, wurden für diese beiden Vorgänge weitere Geschwindigkeitsvariablen eingeführt. Mit Hilfe einer der Variablen hinterlegten Tabelle können die Parameter für Beschleunigung, Bremsen und Geschwindigkeit definiert werden.

Es werden für den Programmablauf zwei verschiedene Bewegungsbefehle verwendet. Dies ist erstens eine Linearbewegung, welche den Roboter dazu zwingt, auf einer Geraden entlang zu fahren. Dabei kann nicht die maximale Geschwindigkeit des Roboters verwendet werden, aber die Kollisionsgefahr wird reduziert, da man den Weg des TCP vorherbestimmen kann. Als zweite Bewegungsart wird eine Punkt-zu-Punkt-Bewegung (PTP-Bewegung) verwendet. Dabei sucht sich der Roboter die schnellste, aber nicht notwendigerweise kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten. Dadurch wird eine Strecke in der geringsten Zeit absolviert, jedoch steigt die Gefahr von Kollisionen. Daher wird diese Bewegungsform im freien Raum angewendet. Es ist abzuwägen, in

welcher Situation die jeweilige Bewegungsart zum Einsatz kommen kann. So sollten die Füge- und Entnahmepositionen immer mit der Linearbewegung angefahren werden, um eine genaue Montage bzw. Aufnahme zu ermöglichen. Ist der Roboter im Raum, können zum Beispiel die Supervorpositionen mit einer PTP-Bewegung angefahren werden.

Die drei Roboterabläufe sind ähnlich aufgebaut und unterscheiden sich nur in den Positionen der angelernten (= teachen) Punkte. Somit sind auch deren Programmabläufe ähnlich.

Da eine Beschreibung der kompletten Programmabläufe (Roboter und Linearachse) nicht viele Erkenntnisse liefern würde, wird nur auf einige Besonderheiten von diesen eingegangen. In der folgenden Tabelle werden die allgemein verwendeten Befehle näher betrachtet und erklärt (s. Tab. 11).

Tab. 11: Befehle Programmablauf

Befehl	Bedeutung	Erklärung
delay()	Verzögerungszeit	nach Ablauf einer vorgegebenen Zeit wird das Programm weitergeführt
movej(point, tool, mdesc)	PTP-Bewegung	point = definierter Punkt, der auf der schnellsten Strecke angefahren wird
		tool = Werkzeug (TCP), mit welchem der Punkt angefahren wird
		mdesc = Geschwindigkeit, mit der der Roboter verfährt
movel(point, tool, mdesc)	Linearbewegung	point = definierter Punkt, der auf direktester Strecke angefahren wird
		tool = Werkzeug (TCP), mit welchem der Punkt angefahren wird
		mdesc = Geschwindigkeit, mit der der Roboter verfährt
waitEndMove()	Genauhaltbewegung	Bewegung wird bis zum Ende durchgeführt, d. h. es wird kein Überschleifen ausgeführt

Die Simulationen beinhalten die Bewegung des Roboters und die der Mittelkonsole (außer Stäubli TX90XL). Da es mit der Software nicht möglich ist, die Mittelkonsole eigenständig zu bewegen, wurde sie in ein Werkzeug (Tool) konvertiert und an einem ausgeblendeten Roboter montiert. Dieser Trick wird angewendet, damit die Mittelkonsole beweglich ist und somit der Ablauf dargestellt werden kann. Der Mittelkonsolenablauf wird mittels gesendeter Zeichenketten gesteuert. Dabei sendet

der Montageroboter den Befehl zum Verfahren an den Roboter, welcher die Mittelkonsole bewegt. Dieser wartet solange mit der Bewegung zur nächsten Montageposition, bis er eine bestimmte Zeichenkette empfängt. An welcher Stelle dies im Programmtext geschieht, ist unter der jeweiligen Überschrift zu finden.

Allgemein

In der folgenden Tabelle werden die verwendeten Abkürzungen mit ihren Bedeutungen aufgezeigt, damit die Programmtexte in den Anlagen A7, A8 und A9 nachvollzogen werden können.

Tab. 12: Abkürzungstabelle Programmtexte

Abkürzung	Bedeutung
Punkte	
pEnt1	Entnahmeposition 1 - Entnahme Steckklammer klein
pEnt2	Entnahmeposition 2 - Entnahme Blechmutter
pEnt3	Entnahmeposition 3 - Entnahme Steckklammer groß
pFP	Fügeposition
pVP	Vorposition
pSVP	Supervorposition
pEP	Entnahmeposition
pWeg	Zwischenposition zur Kollisionsvermeidung
Werkzeuge	
tFlange	Tool Flansch
tSK	Tool Steckklammer
tBM	Tool Blechmutter
Geschwindigkeiten	
mFueg	Fügegeschwindigkeit
mEnt	Entnahmegeschwindigkeit
mNomSpeed	vordefinierte maximale Geschwindigkeit

Stäubli TX60

Die Programmtexte des Roboterablaufs und der Bewegung der Mittelkonsole sind in Anlage A7 hinterlegt.

Da, wie bereits aufgezeigt, der Stäubli TX60 mindestens 3 Montagepositionen der Mittelkonsole benötigt, muss mit Hilfe des Roboterprogramms die Bewegung dieser gesteuert werden. Zu diesem Zweck werden Zeichenketten gesendet, welche kontinuierlich im Programmablauf der Linearachse abgefragt werden. In Zeile 70 des Roboterablaufs wird die Zeichenkette „Pos2“ gesendet, die die wait-Bedingung in Zeile 8 des Linearachsenablaufs erfüllt und so die Mittelkonsole an Montageposition 2 bewegt

werden darf. Der gleiche Vorgang wird noch einmal mit der Zeichenkette „Pos3“ in Zeile 159 ausgeführt, die dem Linearachsenablauf erlaubt, mit Zeile 14 fortzufahren.

Nachdem die Simulation erstellt ist, wird diese auf mögliche Kollisionen untersucht, um herauszufinden, ob dieser Roboter in der Lage ist, die Applikation auszuführen. Dafür wird die Kollisionskontrolle in der Software eingeschaltet und geprüft, an welchen Positionen es zu Berührungen kommt.

Bei der vorliegenden Applikation kommt es zu nicht vermeidbaren Kollisionen zwischen Roboter und Greifer.

Die erste Kollision tritt bei der Montage der zweiten Steckklammer klein auf. Bei dieser Fügeposition ist es nicht zu verhindern, dass der Greifer in den Korpus der Achse 4 eindringt (s. Abb. 42). Um diese Kollision zu umgehen, wäre eine Neukonstruktion des Doppelgreifers notwendig.

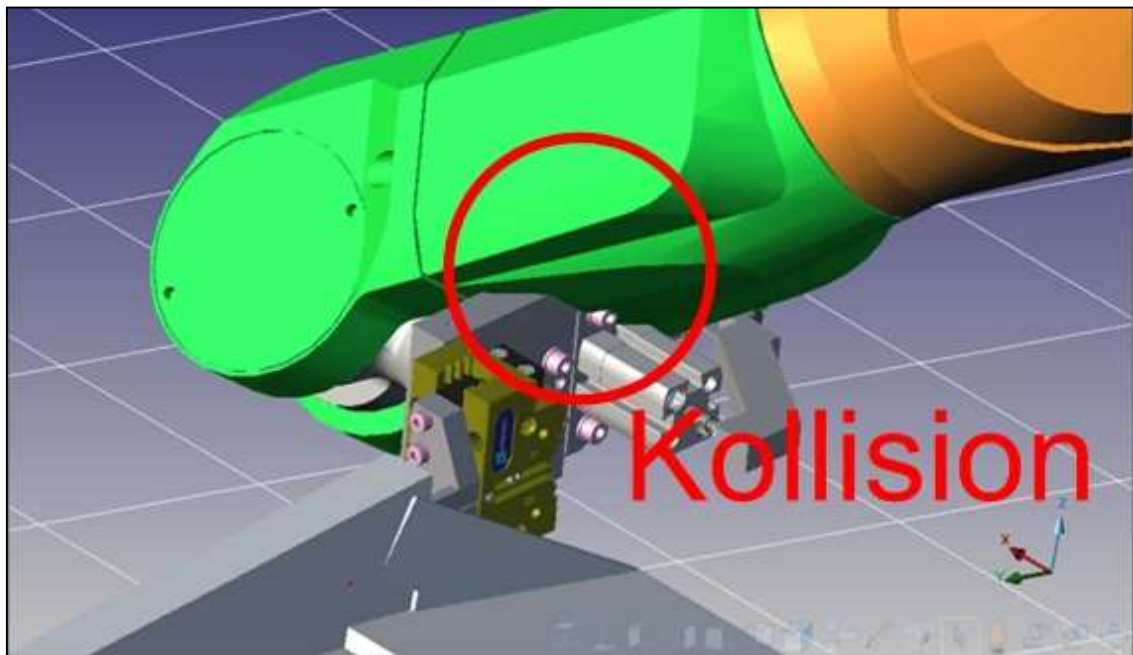


Abb. 42: Kollision Stäubli TX60 mit Greifer (Fügeposition 2)

Eine zweite Kollision kommt bei der Montage der ersten Blechmutter an Fügeposition 3 zu Stande. Dabei dringt die Anflanschplatte in Achse 4 des Roboters ein. Mit dem Anbringen von Phasen wäre es möglich, ausreichend Abstand zum Roboter zu gewinnen, um einer Kollision zu entgehen.

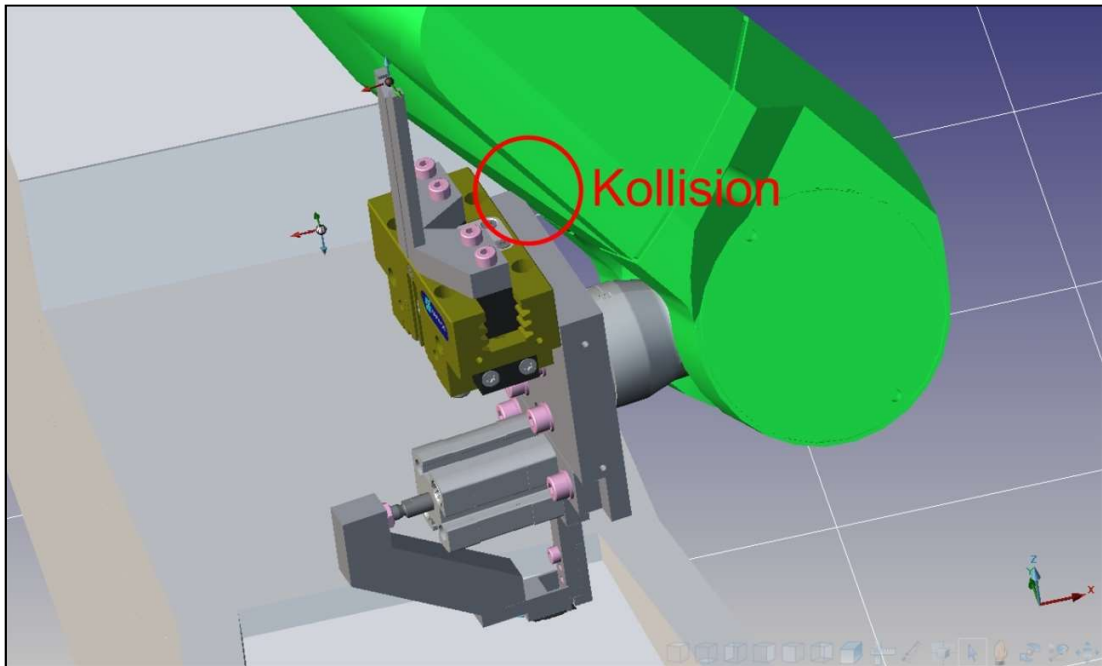


Abb. 43: Kollision Staubli TX60 mit Greifer (Fügeposition 3)

Eine weitere Kollision tritt beim Montieren der zweiten Blechmutter an Fügeposition 4 auf. Dabei steht der Greifer noch deutlicher in Achse 4 des Roboters. Im Gegensatz zu der vorherigen Kollision ist hier für eine Vermeidung eine größere konstruktive Änderung des Greifers notwendig.

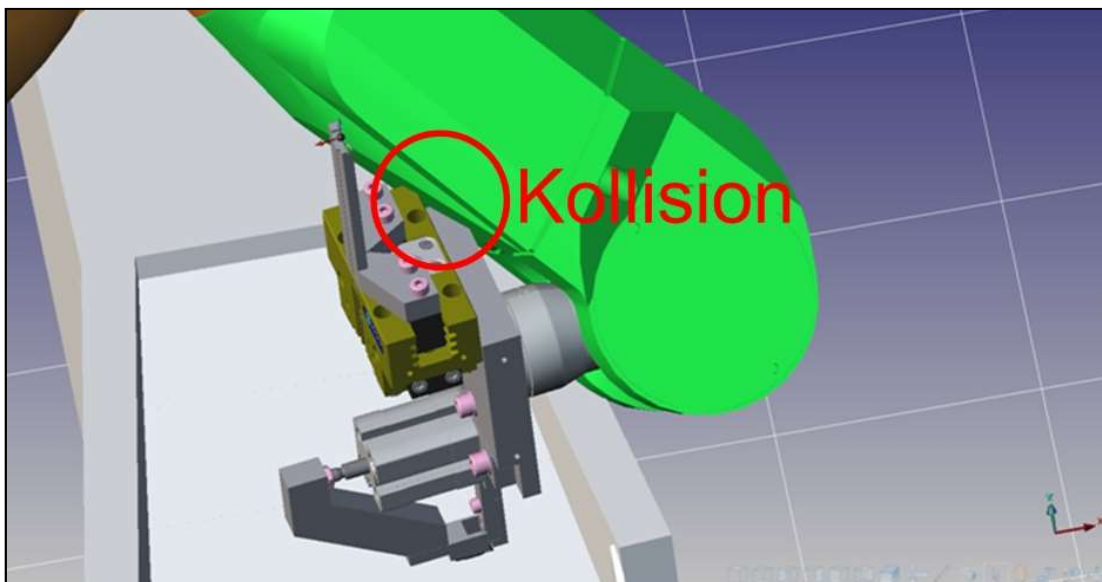


Abb. 44: Kollision Staubli TX60 mit Greifer (Fügeposition 4)

Die Kollisionen sind mit dem vorhandenen Greifer nicht zu vermeiden. Mit einem neu konstruierten Greifer müsste die Kollisionsuntersuchung erneut durchgeführt werden, um zu zeigen, ob eine Verwendung nachfolgend möglich ist.

Die Simulation (mit Kollisionen) ist auf der beigefügten CD-Rom zu finden (Simulation → Stäubli TX60).

Stäubli TX60L

Die Programmtexte des Roboterablaufs und der Bewegung der Mittelkonsole sind in Anlage A8 hinterlegt.

Ebenso wie beim Stäubli TX60 muss über den Roboterablauf gesteuert werden, dass die Mittelkonsole zur nächsten Montageposition bewegt wird. Für diesen Fall werden nur zwei Positionen der Mittelkonsole benötigt, um alle Verbindungskomponenten zu montieren. Es wird in Zeile 73 des Roboterablaufs die Zeichenkette „Pos2“ gesendet, welche in Zeile 8 die wait-Bedingung des Linearachsenablaufs erfüllt.

Nachdem die Simulation erstellt ist, wird diese auf mögliche Kollisionen untersucht. Dafür wird die Kollisionskontrolle in der Software eingeschaltet und geprüft, an welchen Positionen es zu Berührungen kommt.

Bei der vorliegenden Applikation kommt es zu keinen Kollisionen zwischen Roboter und Greifer. Es wäre dementsprechend möglich, mit dem Stäubli TX60L und dem konstruierten Greifer die Applikation kollisionsfrei auszuführen.

Die komplette Simulation ist auf der beigefügten CD-Rom zu finden (Simulation → Stäubli TX60L).

Stäubli TX90XL

Der Programmtext des Roboterablaufs ist in Anlage A9 hinterlegt.

Mit dem Stäubli TX90XL kann die Mittelkonsole an einer Montageposition mit allen Verbindungskomponenten bestückt werden. Somit entfällt für diesen Fall eine Bewegung der Linearachse.

Die komplette Simulation ist auf der beigefügten CD-Rom zu finden (Simulation → Stäubli TX90XL).

6 Prüfung

6.1 Allgemeines

Die Prüfung wird durchgeführt, um bei allen Fügepositionen Anwesenheit und korrekte Montage der jeweiligen Verbindungskomponente zu kontrollieren.

Zu diesem Zweck wird eine Machbarkeitsanalyse mit den Farbvarianten schwarz und beige der Mittelkonsole durchgeführt. Diese beiden werden ausgewählt, da sie einen hohen bzw. niedrigen Kontrast zu den Verbindungskomponenten aufweisen. So ist zum Beispiel der Farbunterschied zwischen Steckklammer klein und schwarzer Mittelkonsole gering. Anders stellt es sich dar, wenn man die Steckklammer klein mit der beige Mittelkonsole vergleicht. Hierbei ist ein großer Farbunterschied zu erkennen.

Die Machbarkeitsanalyse soll aufzeigen, ob die untersuchte Prüfmethode angewendet werden kann.

Die Untersuchung wird mit dem Kameramodell In-Sight 5100 der Firma Cognex und der zugehörigen Software, dem In-Sight Explorer der Version 4.9.1, durchgeführt. Ein Datenblatt zu dem Kameramodell ist in Anlage A10 zu finden.

Die Kamera wird mit einem 12-mm-Objektiv ausgestattet und besitzt eine Auflösung von 640 x 480 Pixeln. Die optische Entfernung zum Prüfobjekt variiert je nach Verbindungskomponente. Damit ein gut auswertbares Bild entsteht, wird mit der Ringbelichtung der Kamera gearbeitet. Diese muss je nach Verbindungskomponente und Farbe der Mittelkonsole unterschiedlich eingestellt werden.

Die gesamte Machbarkeitsanalyse ist unter Anlage A11 zu finden. Nachfolgend werden nur Teile von dieser betrachtet.

6.2 Blechmutter

Versuchsaufbau

Die Bedingungen der Prüfungen sind zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse gleichbleibend gestaltet. Damit dies gewährleistet ist, wird eine Aufnahme für die Mittelkonsole aus Profilen aufgebaut, welche die Fixierung in nur einer Position erlaubt. Die Kamera wird mit einem Magnetstativ so positioniert, dass alle vier Blechmuttern in einem Bild zu

erkennen sind. Der Versuchsaufbau ist nachfolgende schematisch dargestellt (s. Abb. 45).

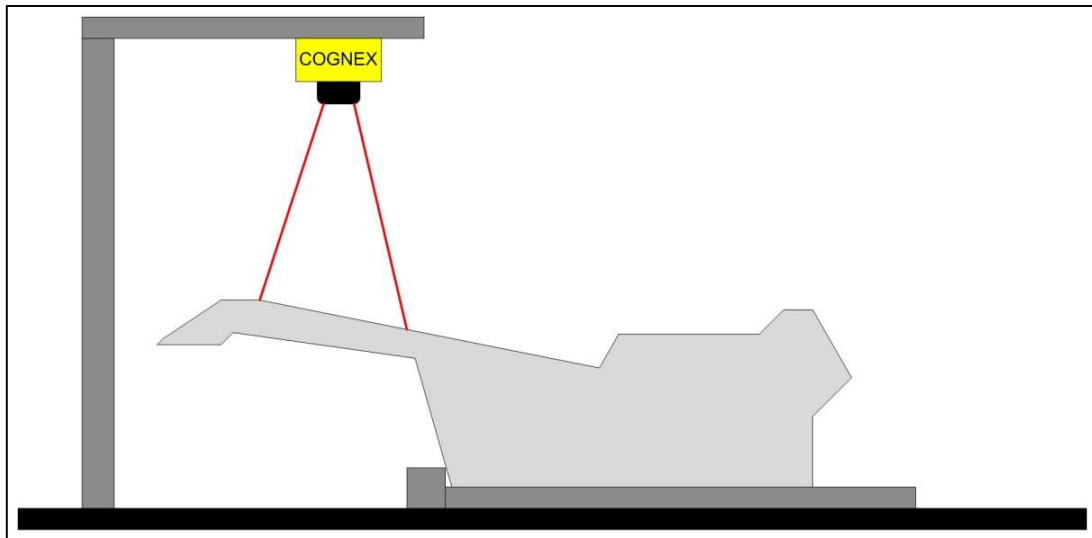


Abb. 45: Versuchsaufbau (Schema) - Prüfung Blechmuttern

Versuchsparameter

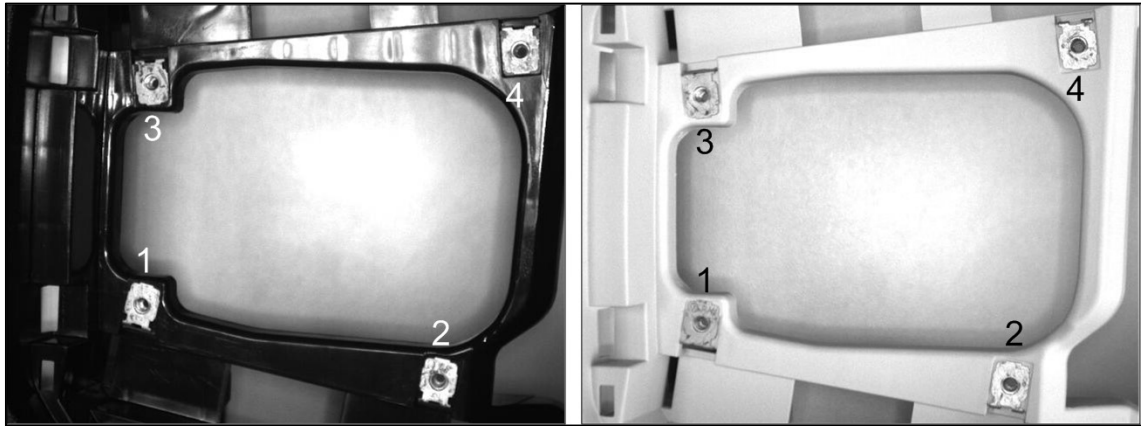
Nach dem Aufbau des Versuchs werden die notwendigen Parameter eingestellt, um gut auswertbare Bilder zu erhalten.

In einem Abstand von 38 cm zum Prüfobjekt wird die Kamera positioniert, so dass alle vier Blechmuttern auf dem Bild erkennbar sind.

Die Ringbeleuchtung der Kamera ist in einen vertikalen und horizontalen Anteil aufgeteilt, der unabhängig voneinander angesteuert werden kann. Um den höchstmöglichen Kontrast zu erhalten, wird bei beiden Mittelkonsolenfarben die komplette Ringbeleuchtung eingeschaltet.

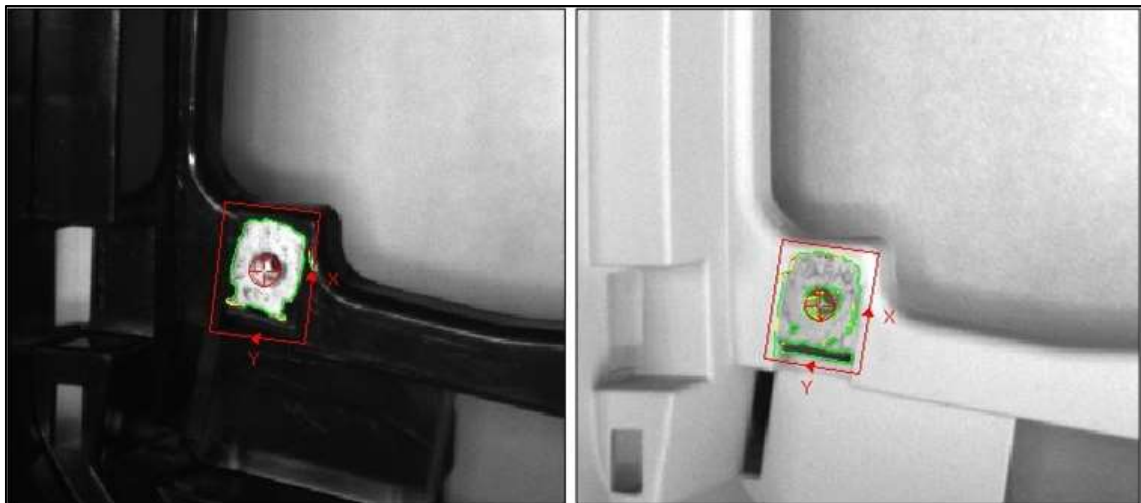
Kamerabild

Die Prüfung der Blechmuttern erfolgt über den Vergleich mit einem Musterbild (s. Abb. 46). Dieses wird zuerst erstellt, damit die Prüfbilder später darauf als Referenzbild zugreifen können. Damit definiert über eine bestimmte Blechmutter entschieden werden kann, wird im Musterbild eine Nummerierung vorgenommen. Diese ist nur für das Protokoll erforderlich und ansonsten nicht sichtbar.



*Abb. 46: Musterbild Blechmuttern mit Nummerierung
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Die Erkennung der Konturen der Blechmuttern wird mit der Funktion TrainPatMaxPattern durchgeführt. Mit Hilfe dieser können in einem definierten Bereich Konturen eingelernt werden. Damit für jede der vier Blechmutter eine eigene Kontur vorhanden ist, die im späteren Verlauf als Referenz dient, wird jede mit einem Erkennungsbereich umschlossen. Beispielhaft ist dies an Blechmutter Nummer 1 dargestellt (s. Abb. 47). Die Konturerkennung der drei weiteren Blechmuttern kann in Anlage A11 eingesehen werden.



*Abb. 47: Eingelernte Kontur der Blechmutter Nummer 1
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Die Blechmutter an der schwarzen Mittelkonsole montiert, ergibt einen klareren Umriss als an der beige. Dies kommt daher, dass ein höherer Kontrast zwischen der Verbindungskomponente und der Mittelkonsole entsteht, wodurch die Abgrenzungslinien besser hervortreten.

Fehlerfälle

Die Kontrolle, ob eine Blechmutter richtig gefügt wurde, erfolgt über die Funktion FindPatMaxPattern. Dabei wird die Referenzkontur in einem vorgegebenen Bereich gesucht und prozentual ausgewertet, wie viel von dieser gefunden wird. Der Bereich ist möglichst klein zu halten, um die Erkennungsgenauigkeit zu erhöhen. Das Ergebnis wird in Prozent ausgegeben und als Güte bezeichnet.

Um eine Entscheidung treffen zu können, ob die Prüfung ein positives oder negatives Ergebnis ergibt, muss eine Mindestgüte bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden mehrere Testmessungen mit korrekt montierten Blechmuttern durchgeführt, um zu bestimmen, welchen Wert diese immer überschreiten. Dieser liegt bei der schwarzen wie auch bei der beige Mittelkonsole bei 85%.

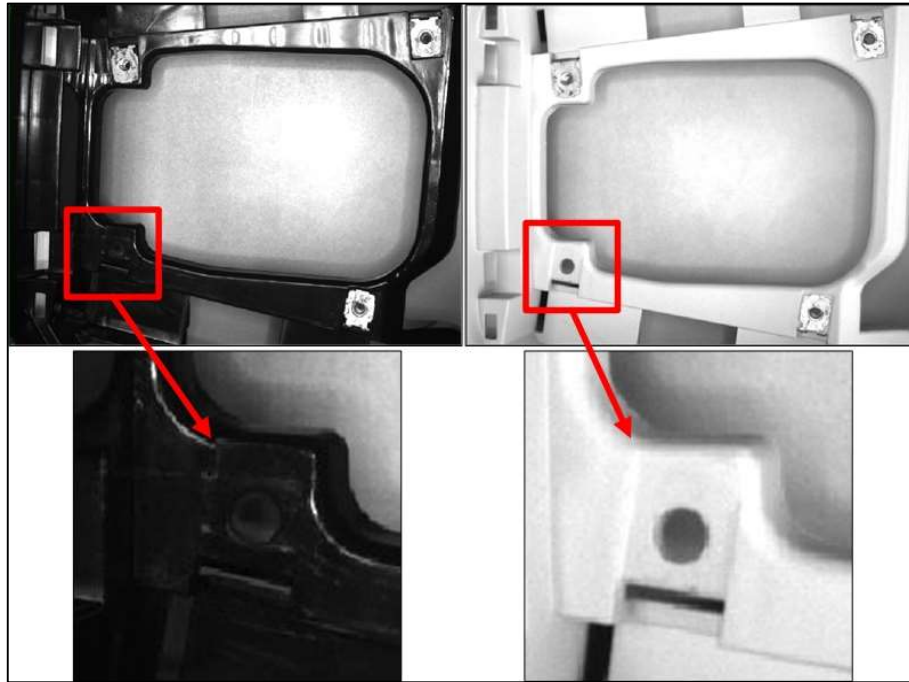
Damit festgestellt werden kann, ob die Mindestgüte als einziges Bewertungskriterium ausreichend ist, werden Fehlerfälle hervorgerufen und Prüfungen an diesen durchgeführt. Die Fehlerfälle mit den sich ergebenden Güten (Mittelwert) werden beispielhaft an der Blechmutter Nummer 1 durchgeführt (s. Tab. 13). Auf Abbildungen der Fehlerfälle wird in der Tabelle verwiesen.

Die ausführliche Auswertungstabelle ist in Anlage A11 zu finden. Aus dieser wurden die Mittelwerte berechnet und zur Veranschaulichung als Ergebnis verwendet.

Tab. 13: Fehlerfälle Blechmutter

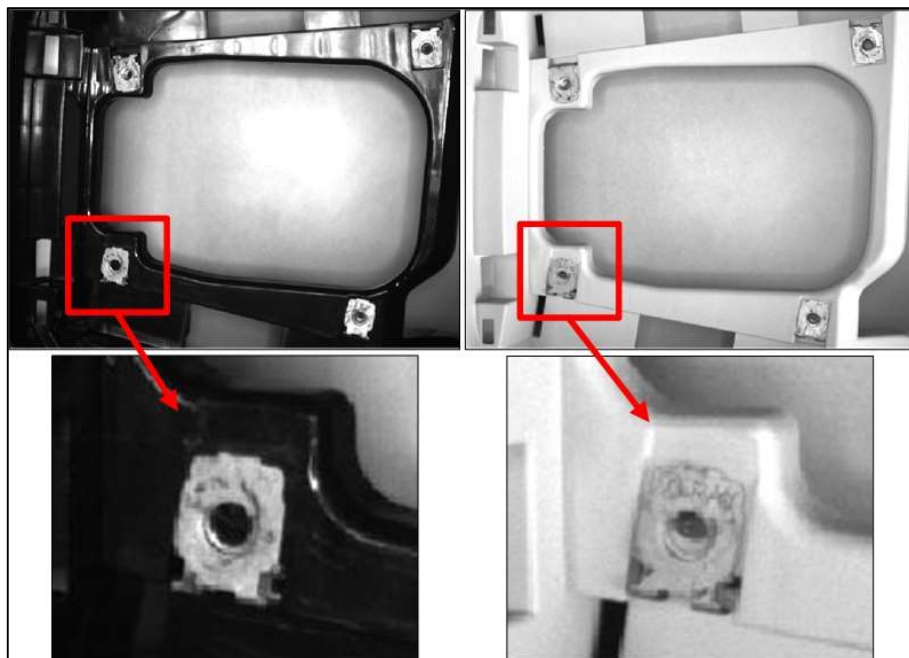
Fehlerfall	Güte [%]	
	Schwarze Mittelkonsole	Beige Mittelkonsole
kein Teil montiert (s. Abb. 48)	59,363	49,294
Teil nicht komplett montiert (s. Abb. 49)	71,498	15,731
Teil schief montiert (s. Abb. 50)	79,520	65,589

Anhand der Tabelle wird erkennbar, dass die Kontrolle der Güte als Merkmal ausreichend ist, um eine Aussage über ein positives oder negatives Prüfergebnis treffen zu können.



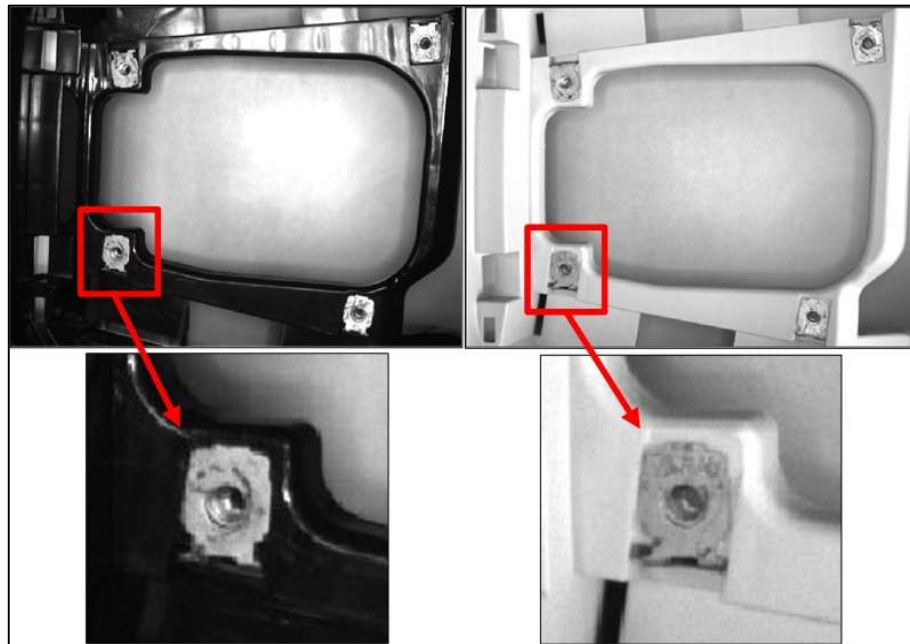
*Abb. 48: Fehlerfall - Blechmutter Nummer 1 nicht montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 85 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.



*Abb. 49: Fehlerfall - Blechmutter Nummer 1 nicht komplett montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 85 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.



*Abb. 50: Fehlerfall - Blechmutter Nummer 1 schief montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 85 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.

6.3 Steckklammer groß

Versuchsaufbau

Die Bedingungen der Prüfungen sind zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse gleichbleibend gestaltet. Um dies zu ermöglichen, wird eine Aufnahme für die Mittelkonsole aus Profilen gestaltet. Die Kamera wird mit einem Magnetstativ so positioniert, dass alle vier Steckklammern groß in einem Bild ausgewertet werden können. Der Versuchsaufbau ist nachfolgend schematisch dargestellt (s. Abb. 51).

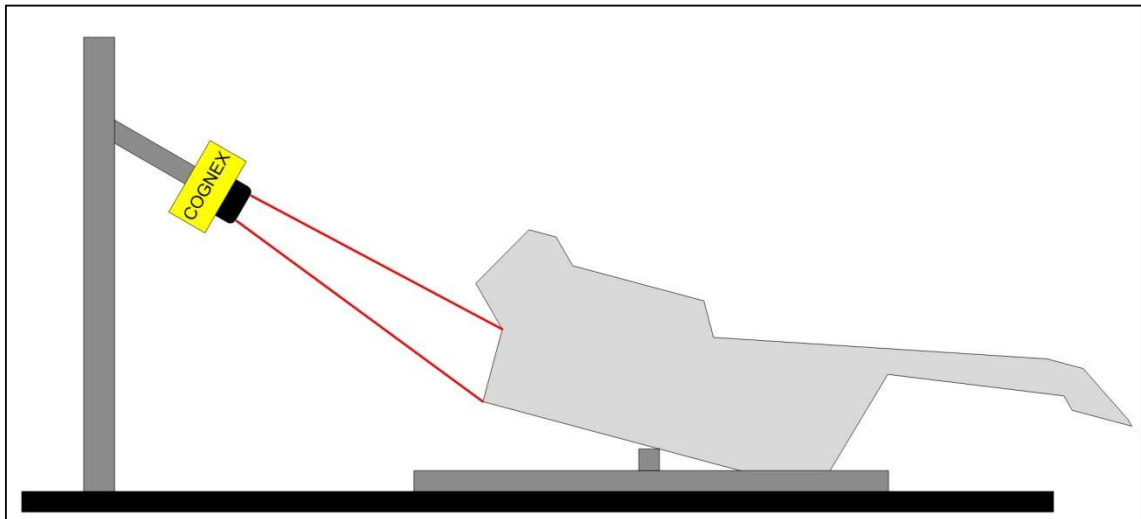


Abb. 51: Versuchsaufbau (Schema) - Prüfung Steckklammern groß

Versuchsparameter

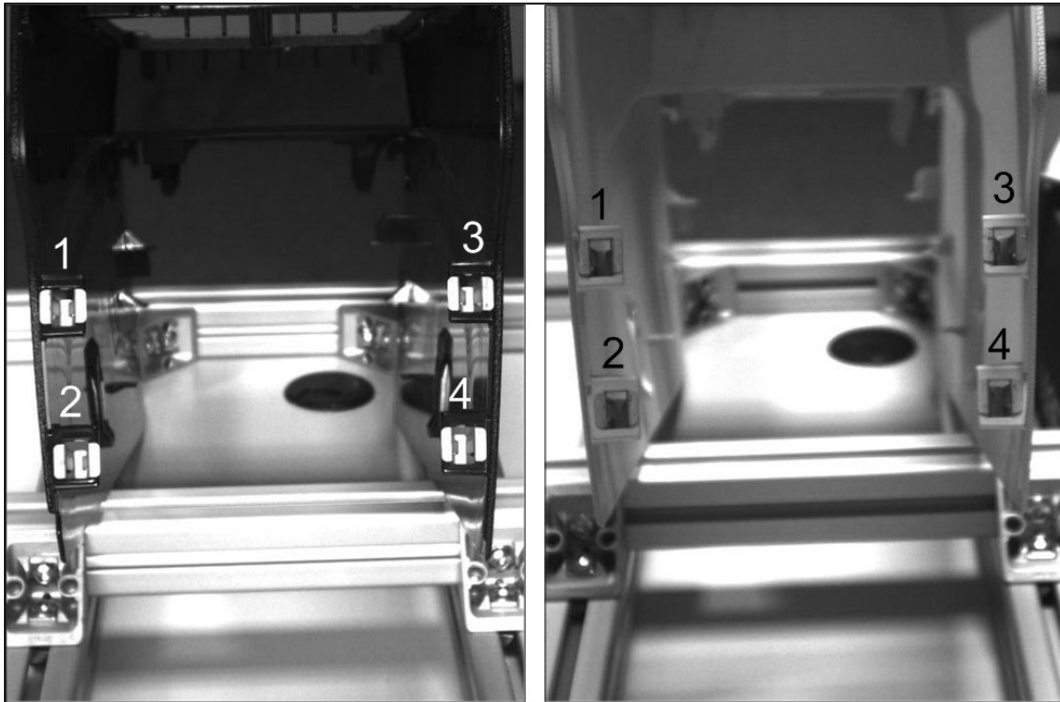
Nach dem Aufbau des Versuchs müssen die Voraussetzungen für ein gut auswertbares Prüfbild geschaffen werden.

Die Kamera wird in einem Abstand von 45 cm zum Prüfobjekt positioniert, so dass alle vier Blechmuttern in einem Bild erkennbar sind.

Die Ringbeleuchtung muss abhängig von der Mittelkonsolenfarbe unterschiedlich angesteuert werden. Bei der schwarzen Oberfläche werden der horizontale und der vertikale Anteil aktiv geschaltet. Die Steckklammern groß an der beigen Mittelkonsole montiert, können nur erkannt werden, wenn die Ringbeleuchtung ausgeschaltet ist.

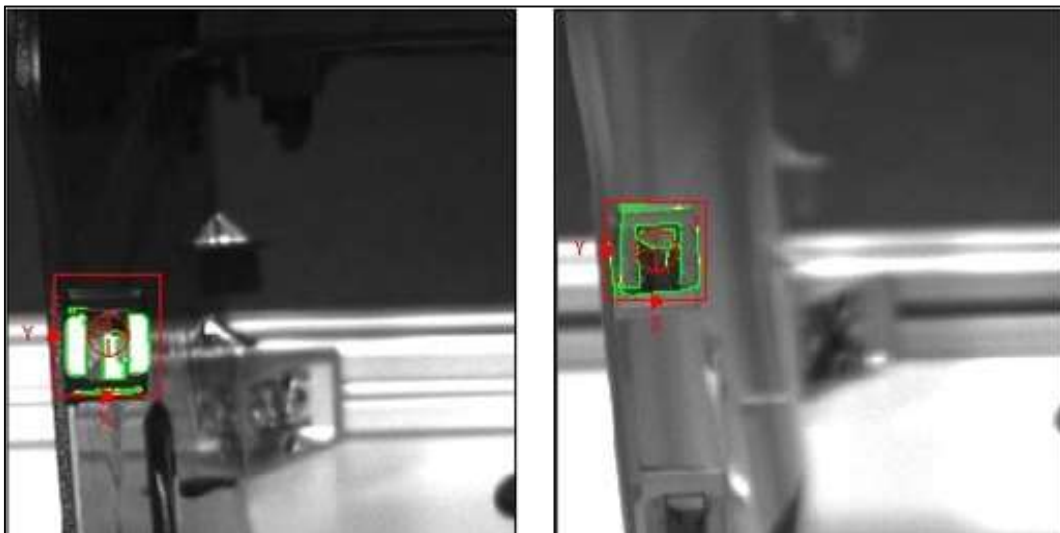
Kamerabild

Die Prüfung der Steckklammern groß erfolgt über den Vergleich zu einem Musterbild (s. Abb. 52). Dieses wird zuerst erstellt und dient den Prüfbildern als Referenz. Um eine Entscheidung treffen zu können, ob eine Blechmutter korrekt montiert wurde, wird im Musterbild eine Nummerierung vorgenommen. Dies ist nur für die Protokollierung notwendig.



*Abb. 52: Musterbild Steckklammern groß mit Nummerierung
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Das Erkennen der Konturen der Steckklammern groß wird mit der Funktion TrainPatMaxPattern durchgeführt. Mit Hilfe dieser werden in einem definierten Bereich Konturen eingelernt. Damit jede der vier Steckklammern groß als eigene Kontur vorhanden ist, wird jeweils ein Bereich definiert. Beispielhaft ist dies an Steckklammer groß Nummer 1 dargestellt (s. Abb. 53). Die Konturerkennung der drei weiteren Steckklammern groß kann in Anlage A11 eingesehen werden.



*Abb. 53: Eingelernte Kontur der Steckklammer groß Nummer 1
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Die Kontur der Steckklammer groß wird an der schwarzen Mittelkonsole durch den höheren Kontrast besser erkannt als an der beige.

Fehlerfälle

Die Kontrolle, ob eine Steckklammer groß richtig montiert wurde, erfolgt über die Funktion FindPatMaxPattern. Dabei wird die eingelernte Referenzkontur in einem vorgegebenen Bereich gesucht und eine prozentuale Auswertung vorgenommen, wie viel von dieser gefunden wurde. Je kleiner dieser Bereich ist, desto aussagekräftiger ist das Ergebnis. Der ausgegebene Prozentwert wird als Güte bezeichnet.

Um eine Entscheidung treffen zu können, ob eine Prüfung ein positives oder negatives Ergebnis ergibt, muss eine Mindestgüte bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden mehrere Testmessungen mit korrekt montierten Steckklammern groß durchgeführt, um zu bestimmen, welchen Wert diese immer überschreiten. Dieser liegt bei der schwarzen wie auch bei der beige Mittelkonsole bei 90 %.

Damit festgestellt werden kann, ob die Mindestgüte als einziges Bewertungskriterium ausreichend ist, werden Fehlerfälle hervorgerufen und Prüfungen an diesen durchgeführt. Die Fehlerfälle mit den sich ergebenden Güten werden beispielhaft an der Steckklammer groß Nummer 1 durchgeführt (s. Tab. 14). Auf Abbildungen der Fehlerfälle wird in der Tabelle verwiesen.

Die ausführliche Auswertungstabelle ist in Anlage A11 zu finden. Aus dieser wurden die Mittelwerte berechnet und zur Veranschaulichung als Ergebnis verwendet.

Tab. 14: Fehlerfälle Steckklammer groß

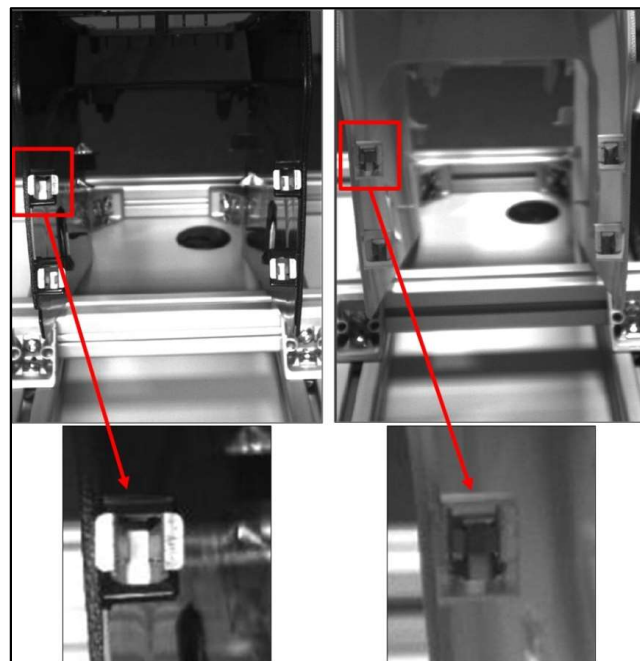
Fehlerfall	Güte [%]	
	Schwarze Mittelkonsole	Beige Mittelkonsole
kein Teil montiert (s. Abb. 54)	10,968	50,776
Teil nur angefädelt (s. Abb. 55)	46,458	26,810
Teil schief montiert (s. Abb. 56)	35,602	52,156
Teil nicht nachgedrückt (s. Abb. 57)	14,916	46,870

Anhand der Tabelle wird erkennbar, dass die Kontrolle der Güte als Merkmal ausreichend ist, um eine Aussage über ein positives oder negatives Prüfergebnis treffen zu können.



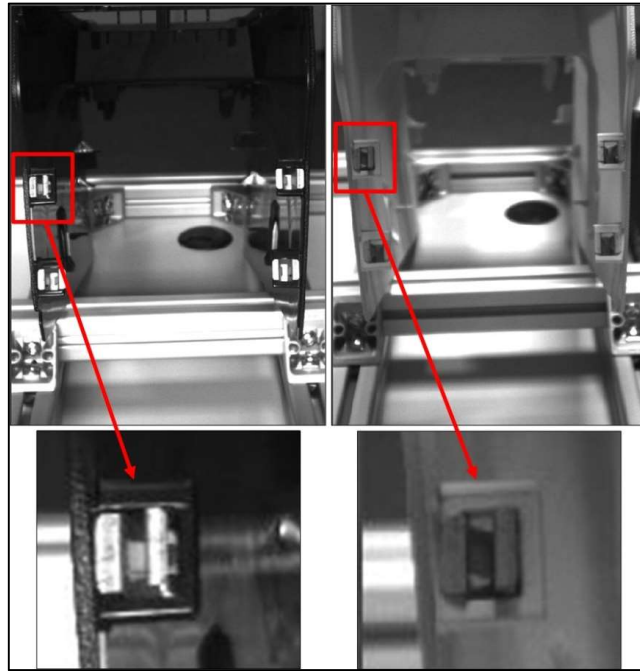
*Abb. 54: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 nicht montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 90 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.



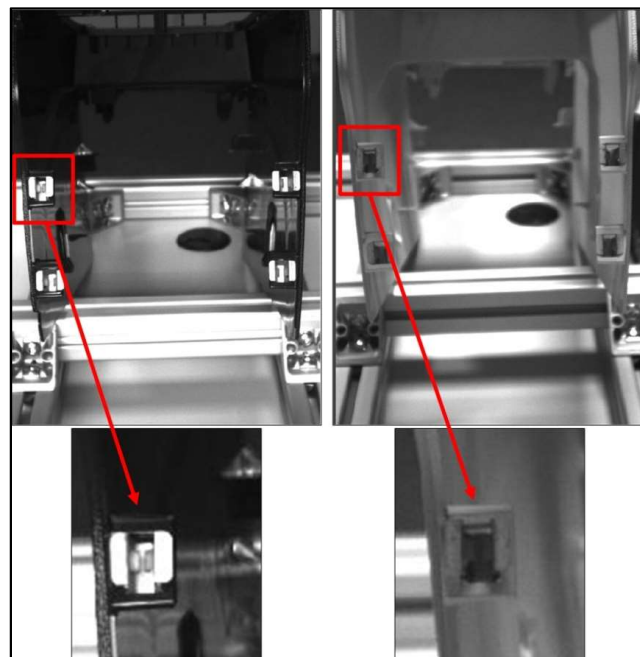
*Abb. 55: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 nur angefädelt
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 90 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.



*Abb. 56: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 schief montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 90 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.



*Abb. 57: Fehlerfall - Steckklammer groß Nummer 1 nicht nachgedrückt
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 90 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.

6.4 Steckklammer klein

Versuchsaufbau

Die Bedingungen der Prüfungen sind zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse gleichbleibend gestaltet. Damit dies gewährleistet ist, wird eine Aufnahme für die Mittelkonsole aus Profilen aufgebaut, welche die Fixierung in nur einer Position erlaubt. Aufgrund der Geometrie der Mittelkonsole ist es nicht möglich, mit einer Kamera beide Steckklammern klein zu prüfen. Somit ist es in diesem Fall notwendig, die Kamera in zwei verschiedenen Positionen vor der jeweils zu prüfenden zu positionieren. Die Kamera wird dazu mit einem Magnetstativ an der jeweiligen Position fixiert. Der Versuchsaufbau ist nachfolgend in zwei Ansichten schematisch dargestellt (s. Abb. 58 und Abb. 59).

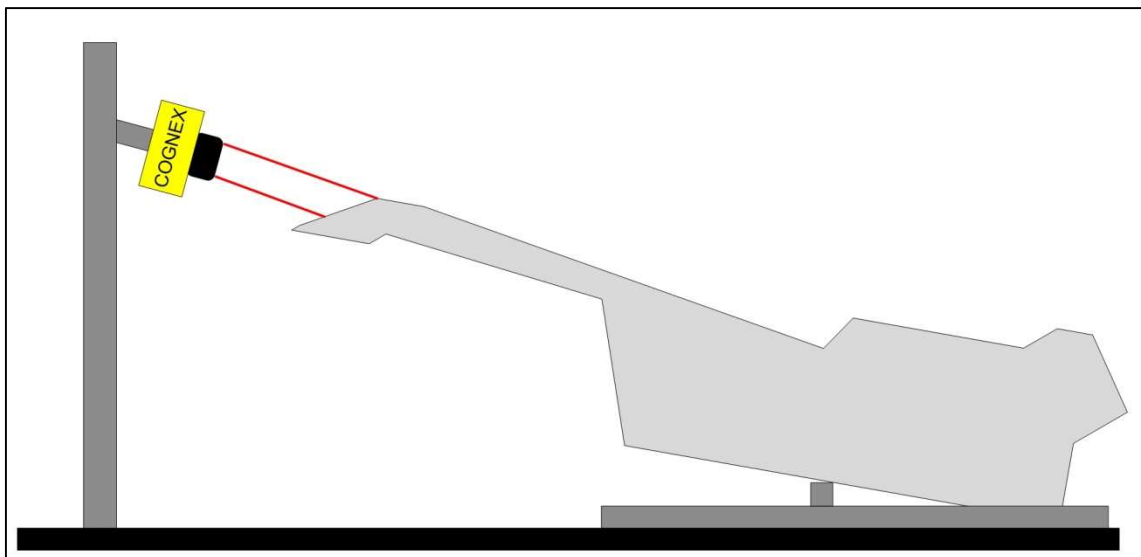


Abb. 58: Versuchsaufbau (Schema) Seitenansicht - Prüfung Steckklammern klein

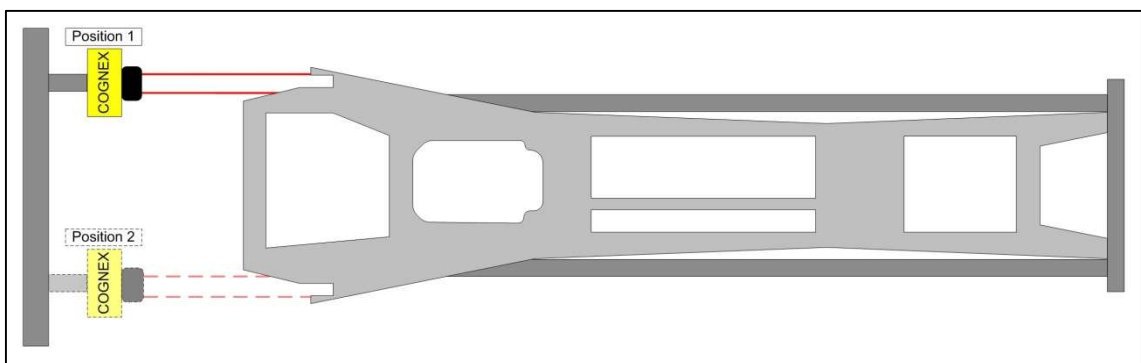


Abb. 59: Versuchsaufbau (Schema) Draufsicht - Prüfung Steckklammern klein

Versuchsparameter

Nach dem Aufbau des Versuchs müssen die Voraussetzungen für ein gut auswertbares Prüfbild geschaffen werden.

Die Kamera wird in einem Abstand von 30 cm zum Prüfobjekt positioniert, so dass eine gute Erkennung der Steckklammer klein erfolgen kann.

Die Ringbeleuchtung muss abhängig von der Mittelkonsolenfarbe unterschiedlich angesteuert werden. Bei der schwarzen Oberfläche wird der horizontale Anteil aktiv geschaltet. Die Erkennung an der beigen Mittelkonsole wird ohne Beleuchtung durchgeführt.

Kamerabild

Die Prüfung der Steckklammern klein erfolgt über den Vergleich zu einem Musterbild (s. Abb. 60 und Abb. 61). Dieses muss zuerst erstellt werden, damit die Prüfbilder auf dieses als Referenzbild zugreifen können. Hierbei muss unterschieden werden zwischen den beiden Positionen, die die Kamera einnehmen kann. Dies ist nur für das Protokoll notwendig.

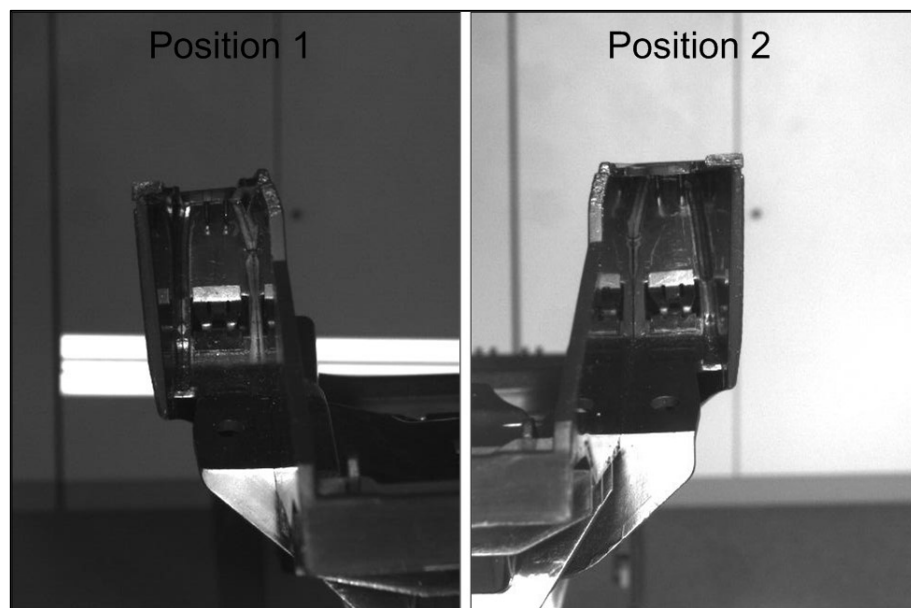


Abb. 60: Musterbild Steckklammern klein (schwarze Mittelkonsole)

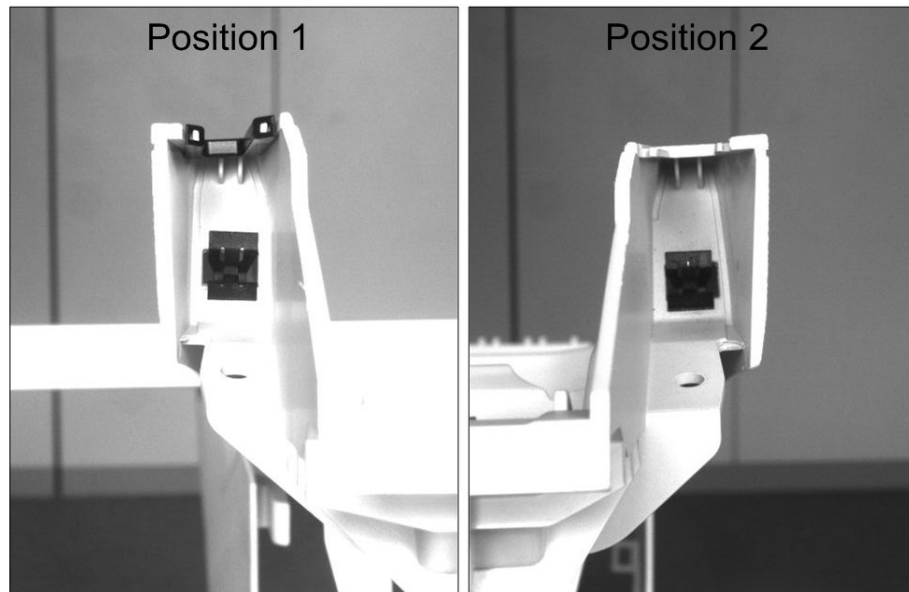


Abb. 61: Musterbild Steckklammern klein (beige Mittelkonsole)

Die Erkennung der Kontur der Steckklammer klein wird mit der Funktion TrainPatMaxPattern durchgeführt (s. Abb. 62 und Abb. 63).

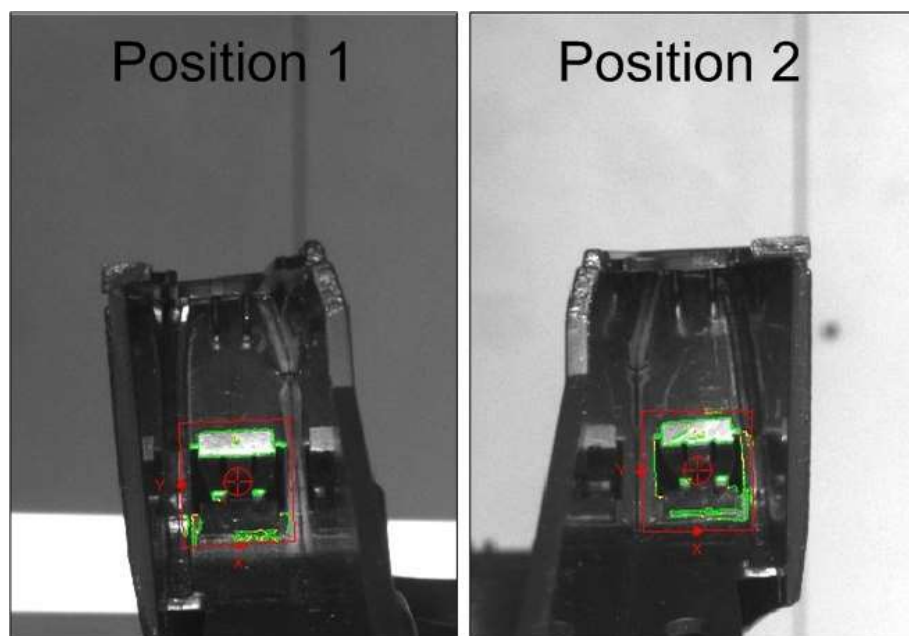


Abb. 62: Konturerkennung Steckklammer klein (schwarze Mittelkonsole)

Bei der Konturerkennung an der schwarzen Mittelkonsole kommt es aufgrund des geringen Kontrastes zu einer unklaren Abgrenzung. Es kann aber trotzdem der Umriss der Steckklammer klein erkannt werden.

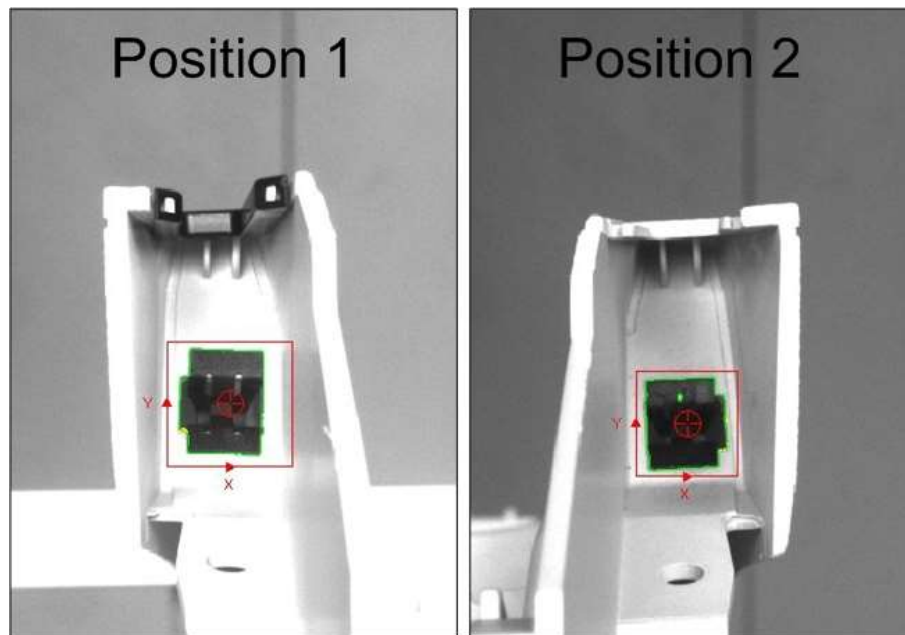


Abb. 63: Konturerkennung Steckklammer klein (beige Mittelkonsole)

Bei der Konturerkennung an der beige Mittelkonsole entsteht ein klarer Umriss.

Fehlerfälle

Die Kontrolle, ob die Steckklammer klein korrekt montiert wurde, erfolgt über die Funktion FindPatMaxPattern. Dabei wird die Referenzkontur in einem vorgegebenen Bereich gesucht und prozentual ausgewertet, wie viel von dieser gefunden wird. Der Bereich ist möglichst klein zu halten, um die Erkennungsgenauigkeit zu erhöhen. Das Ergebnis wird in Prozent ausgegeben und als Güte bezeichnet.

Um eine Entscheidung treffen zu können, ob eine Prüfung ein positives oder negatives Ergebnis ergibt, muss eine Mindestgüte bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden mehrere Testmessungen mit korrekt montierten Steckklammern klein durchgeführt, um zu bestimmen, welchen Wert diese regelmäßig überschreiten. Diese liegt bei der schwarzen wie auch bei der beige Mittelkonsole bei 85 %.

Damit festgestellt werden kann, ob die Mindestgüte als einziges Bewertungskriterium ausreichend ist, werden Fehlerfälle hervorgerufen und Prüfungen an diesen durchgeführt. Die Fehlerfälle mit den sich ergebenden Güten werden beispielhaft an Kamera-position 1 durchgeführt (s. Tab. 15). Auf Abbildungen der Fehlerfälle wird in der Tabelle verwiesen.

Die ausführliche Auswertungstabelle ist in Anlage A11 zu finden. Aus dieser wurden die Mittelwerte berechnet und zur Veranschaulichung als Ergebnis verwendet.

Tab. 15: Fehlerfälle Steckklammer klein

Fehlerfall	Güte [%]	
	Schwarze Mittelkonsole	Beige Mittelkonsole
kein Teil montiert (s. Abb. 64)	12,056	32,528
Teil schief montiert (s. Abb. 65)	7,389	45,301
Teil verkantet montiert (s. Abb. 66)	14,141	39,171

Anhand der Tabelle wird erkennbar, dass die Kontrolle der Güte als Merkmal ausreichend ist, um eine Aussage über ein positives oder negatives Prüfergebnis treffen zu können.

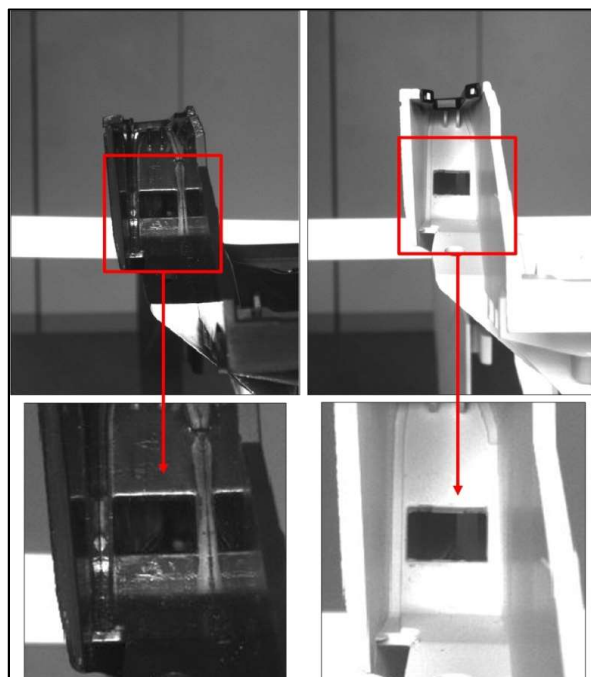
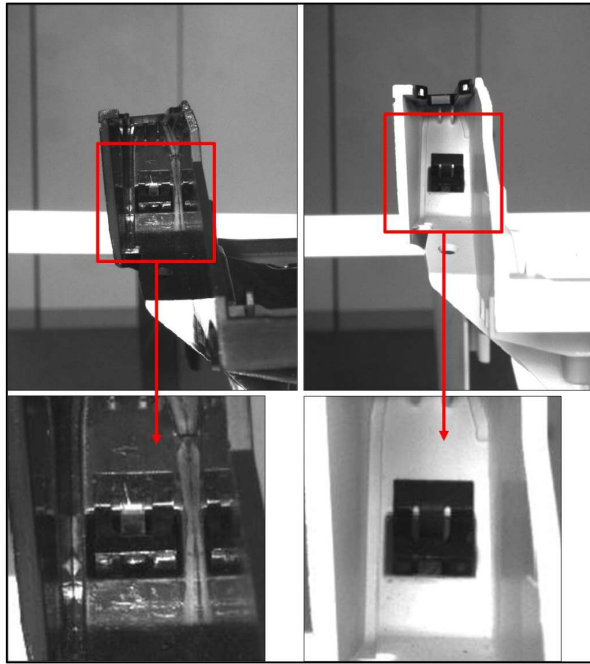


Abb. 64: Fehlerfall - Steckklammer klein Position 1 nicht montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 85 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.



*Abb. 65: Fehlerfall - Steckklammer klein Position 1 verkantet montiert
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

Bei beiden Farbvarianten der Mittelkonsole wird eine Güte von unter 85 % erreicht. Aus diesem Ergebnis lässt sich ableiten, dass es sich um einen Fehlerfall handelt.

7 Fazit

7.1 Ergebnis

Die vorliegende Diplomarbeit zeigt, dass eine robotergeführte Montage von Verbindungskomponenten an Kunststoffverkleidungen im PKW-Interieur theoretisch möglich ist.

Mit der Untersuchung und Simulation verschiedener Robotergrößen und den sich daraus ergebenden unterschiedlichen Montageabläufen kann entschieden werden, welche optimale Größe ein Roboter besitzen sollte, um die Applikation auszuführen. Auf diese Weise wurde nachgewiesen, dass der Stäubli TX60 mit den derzeit vorhandenen Kenntnissen nicht verwendet werden kann, da bei ihm Kollisionen auftreten. Die beiden anderen untersuchten Roboter Stäubli TX60L und Stäubli TX90XL können kollisionsfrei die Montage durchführen und kommen somit für die Ausführung der Applikation in Betracht.

Die Versuche, mittelsameratechnik die Prüfung der montierten Verbindungskomponenten zu realisieren, sind erfolgreich verlaufen. Es konnte gezeigt werden, dass jede Verbindungskomponente auf den zwei verschiedenen Farben (schwarz und beige) der Mittelkonsole erkannt werden kann. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass Fehlerfälle zu einem negativen Ergebnis führen und somit eine Einteilung in Gutteile und Ausschuss möglich ist.

7.2 Ausblick

Der nächste Schritt zur Weiterentwicklung der Anwendung besteht in einem Test der Montagevorgänge in einer realen Umgebung. Hierzu muss die Mittelkonsole in einer Aufnahme befestigt und überprüft werden, ob die bestimmten Fügekräfte und Fügemethoden angewendet werden können.

Ist dieser Test erfolgreich, kann nachfolgend begonnen werden, die Applikation in ihrer späteren Umgebung abzubilden. Damit dies möglich ist, müssen weitere Parameter definiert werden. Dies sind zum Beispiel die räumlichen Abmessungen, die die Roboterzelle schlussendlich einnehmen darf und wieviel Zeit eine komplette Montage mit nachfolgender Prüfung beanspruchen soll. Hierzu muss eine enge Zusammenarbeit mit der Konstruktion erfolgen, um einen funktionsfähigen Greifer, eine Aufnahme der Mittelkonsole und die Zenumgebung zu modellieren.

Nach einem erfolgreichen Test der Applikation in einer Simulation, kann sie in der Realität umgesetzt werden. Hierzu müssen zuerst die mechanischen Komponenten der Roboterzelle montiert werden und nachfolgend eine Programmierung von Roboter, Linearachse, Zuführstationen und Sicherheitselementen durchgeführt werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung müssen mehrere Abteilungen in einem Team zusammenarbeiten. Auf diesem Weg kann eine funktionsfähige, sichere und fehlerfrei arbeitende Roboterzelle entstehen.

Dies hat als Ziel, die körperlich schwere Arbeit durch eine automatisierte Anwendung zu ersetzen und somit die Arbeiter zu entlasten. Ob gleichzeitig eine Kosteneinsparung zustande kommt, muss über eine Kalkulation ermittelt werden.

Um nicht nur eine eindimensionale Applikation zu entwickeln, ist es sinnvoll, Untersuchungen vorzunehmen, welche eine Erweiterung ermöglichen. Es sollte herausgefunden werden, ob mit den vorhandenen Gegebenheiten weitere Bauteile mit Verbindungskomponenten bestückt werden können. Aufbauend darauf kann geprüft werden, ob weitere Verbindungskomponenten in die Anwendung integriert werden können, um die Bauteilvielfalt weiter zu erhöhen.

Je größer die Anzahl der Verbindungskomponenten und Bauteile wird, desto komplexer muss der zum Einsatz kommende Greifer ausgelegt werden. Da somit die Kollisionsgefahr immer weiter ansteigt, ist es sinnvoll, darüber nachzudenken, ein Werkzeugwechselsystem oder einen zweiten Roboter in die Roboterzelle einzuarbeiten. Ebenfalls wäre zu überlegen, das starre Kamerasystem aus der Applikation zu entfernen und die Kamera an den Endeffektor zu koppeln. Dies würde dem Roboter mehr Bewegungsfreiheit gewähren und die Integration weiterer Komponenten vereinfachen.

Ein weiterer Schritt wäre die Zusammenführung mit anderen Füge- und Verarbeitungsprozessen, wie zum Beispiel Handling, Schrauben und Bestücken. Auf diesem Weg ist es möglich, eine Produktionsstrecke zu entwerfen, mit welcher eine Montage aller Komponenten an einer Baugruppe realisiert werden kann. Nachfolgend ist es nicht mehr notwendig, die Prozesse räumlich und zeitlich voneinander zu trennen, sondern es kann ein Rohteil eingespeist werden und ein Fertigteil am Ende der Produktionsstrecke entnommen werden.

Alle diese Weiterentwicklungen können genutzt werden, um eine Lösung für ein Gesamtsystem zu finden, welches es ermöglicht, die Produktivität zu erhöhen und eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

- [1] D. Spohn, „computer-automation.de,“ 26. April 2016. [Online]. Available: <http://www.computer-automation.de/feldebene/antriebe/artikel/129769/>. [Zugriff am 02. August 2016].

- [2] K. D. Dr. Bettenhausen, A. Prof. Kugi, B. Dr. Reißerweber und D. Westerkamp, „VDI - Verein Deutscher Ingenieure,“ 21. November 2007. [Online]. Available: https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/AT2020_Bedeutung_2007-12-03.pdf. [Zugriff am 02. August 2016].

- [3] Auel Verbindungstechnik GmbH, „auel Verbindungstechnik,“ o. Jahr. [Online]. Available: <http://www.auel-gmbh.de/fileadmin/produktpdfs/Schnappmutter/Schnappmutter-Technik.pdf>. [Zugriff am 05. August 2016].

- [4] IMS Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, „IMS Verbindungstechnik,“ o. Jahr. [Online]. Available: http://fs5webims.witglobal.net/unikatalog/assets/img/catalogs/_C0101%20form%20q.jpg. [Zugriff am 08. August 2016].

- [5] IMS Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, „IMS Verbindungstechnik,“ o. Jahr. [Online]. Available: http://www.ims-verbindungstechnik.com/de/ims/produkte_2/universal_katalog/katalog_1/universal_katalog.php. [Zugriff am 08. August 2016].

- [6] IMS Verbindungstechnik GmbH & Co. KG, „IMS Verbindungstechnik,“ o. Jahr. [Online]. Available: http://fs5webims.witglobal.net/unikatalog/assets/img/catalogs/_B0401.jpg. [Zugriff am 09. August 2016].

- [7] Stäubli International AG, „Stäubli,“ September 2013. [Online]. Available: http://www.staubli.com/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1472107125&hash=b297eea76009d4cd78f9358a7c5d59f382d47bb5&file=fileadmin/user_upload/staublicom/robotics/PDF-files/TX60_Robot_DE_092013.pdf. [Zugriff am 24. August 2016].

-
- [8] Stäubli International AG, „Stäubli,“ April 2013. [Online]. Available: http://www.staubli.com/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1472126167&hash=2b5474ffd6af7ab8d748ce6882523923e80859ec&file=fileadmin/user_upload/staublicom/robotics/PDF-files/TX90_Robot_DE_042013.pdf. [Zugriff am 24. August 2016].
- [9] Prospektiv GmbH, „ROBINI - Robotik-Initiative Niedersachsen,“ 2010. [Online]. Available: http://www.robini-hannover.de/robini_glossar/wiederholgenauigkeit.html. [Zugriff am 05. Dezember 2016].
- [10] DATACOM Buchverlag GmbH, „ITWissen.info,“ o. Jahr. [Online]. Available: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Programmablaufplan-PAP-program-flowchart.html>. [Zugriff am 05. November 2016].
- [11] Stäubli, „STÄUBLI Robotics Suite (SRS) - Bedienungsanleitung,“ 2014.

Anlagenverzeichnis

A1	Versuchsreihen Fügekräfte	XV
A2	Datenblatt Stäubli TX60/ Stäubli TX60L [8]	XVI
A3	Datenblatt Stäubli TX90XL [9]	XVIII
A4	Programmablaufplan Stäubli TX60	XX
A5	Programmablaufplan Stäubli TX60L	XXI
A6	Programmablaufplan Stäubli TX90XL	XXII
A7	Programmtexte Stäubli TX60	XXIII
A8	Programmtexte Stäubli TX60L	XXVIII
A9	Programmtext Stäubli TX90XL	XXXIII
A10	Datenblatt Cognex In-Sight 5100 [10]	XXXVII
A11	Machbarkeitsanalyse	XLI

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Chemnitz, 19.01.2017

Frank Doant

Anlagen

Anlage A1

Blechmutter

Versuch	Fügekraft [N]
1	38
2	37
3	35
4	35
5	40

Steckklammer (groß) - Montageschritt 1

Versuch	Fügekraft [N]
1	32
2	30
3	29
4	28
5	29

Steckklammer (groß) - Montageschritt 2

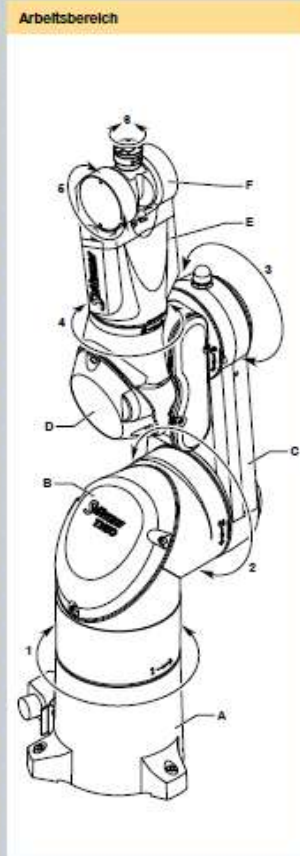
Versuch	Fügekraft [N]
1	7
2	8,5
3	8
4	6,5
5	6,5

Steckklammer (klein)

Versuch	Fügekraft [N]
1	13
2	14
3	14
4	15
5	12

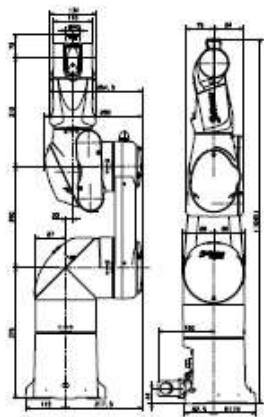
Anlage A2

TYP		TX60	TX60L
Merkmale			
Maximale Traglast (1)		9 kg	5 kg
Nominale Traglast		3,5 kg	2 kg
Reichweite (bis Flansch)		670 mm	920 mm
Anzahl Freiheitsgrade		6	6
Wiederholgenauigkeit ISO 9283		± 0,02 mm	± 0,03 mm
Arbeitsbereich	Achse 1 (A)	± 180°	± 180°
	Achse 2 (B)	± 127,5°	± 127,5°
	Achse 3 (C)	± 142,5°	± 152,5°
	Achse 4 (D)	± 270°	± 270°
	Achse 5 (E)	+132,5°/-122,5°	+132,5°/-122,5°
	Achse 6 (F)	± 270° (A)	± 270° (A)
Arbeitsraum	Max. Reichw. zw. den Achsen 1 und 5 (R. M)	600 mm	850 mm
	Min. Reichw. zw. den Achsen 1 und 5 (R. m1)	190 mm	209 mm
	Min. Reichw. zw. den Achsen 2 und 5 (R. m2)	189 mm	208 mm
	Reichw. zw den Achsen 3 und 5 (R. b)	310 mm	540 mm
Maximale Geschwindigkeit	Achse 1	435°/s	435°/s
	Achse 2	410°/s	385°/s
	Achse 3	540°/s	500°/s
	Achse 4	995°/s	995°/s
	Achse 5	1065°/s	1065°/s
	Achse 6	1445°/s	1445°/s
Maximale Geschwindigkeit im Lastenschwerpunkt		8 m/s	10,6 m/s
Maximale Trägheit	Achse 5	0,325 kg.m²	0,125 kg.m²
	Achse 6	0,1 kg.m²	0,032 kg.m²
Gewicht		51,4 kg	52,5 kg
Bremsen		Alle Achsen	
Unterarm Verbindungen	Druckluftkreislauf	Zwei 5/2-Magnetventile (Druckluft) oder monostabile 3/2-Wege-Vakuumventile. Eine direkte Leitung verbindet den Sockel mit dem Vorderarm	
	Signalleitungen	Eine 18polige Anschlussbuchse im Vorderarm (7 verdrehte Leiterpaare, davon 2 geschirmte, 3 verdrehte mit größerem Querschnitt)	
Reinraumklasse - ISO 14644-1		5	
Schutzklasse (*Handgelenk) gemäß Norm NF EN 605299		IP65 (*67)	
Steuerungstyp Stäubli Baureihe CS8		CS8C	
Optionen für besondere Umgebungsbedingungen			
Betriebstemperatur gemäß Norm NF EN 60 204-1		+5°C bis 40°C	
Relative Luftfeuchtigkeit gemäß Norm NF EN 60 204-1		30% bis max. 95% kondensationsfrei	
Montagemöglichkeiten		Boden/Wand/Decke	
Senkrechte Kabeldurchführung (A)		•	•
Überdruckausführung (A)		•	•
Feuchtraumausführung (A)		•	•
Marktspezifische Ausführungen			
CR Cleanroom - Reinraumklasse 4 nach Norm ISO 14644-1		•	•
SCR Cleanroom - Reinraumklasse 2 nach Norm ISO 14644-1		•	•
Plastics - Euromap 12/67 Schnittstelle zu SGM		•	•

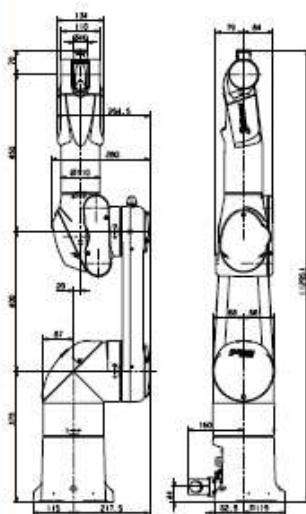


- (1) Unter besonderen Bedingungen möglich. Bitte sprechen Sie uns an.
- (2) Per Software bis ±1800° konfigurierbar.
- (3) Vertikale Kabeldurchführung: Geeignet zum Schutz der Anschlüsse am Sockel oder zur Verwendung in steriler Umgebung. Installation nur bei Erstbestellung möglich.
- (4) Überdruckeinheit: Zur Verwendung unter sehr staubiger oder spritzwassergefährdeter Produktionsumgebung. Die Überdruckeinheit enthält alle für die interne Druckbeaufschlagung erforderlichen Komponenten. Installation als Erstausrüstung oder als Option.
- (5) Feuchtraumausführung (Version Humid Environment): Ausgelegt zur speziellen Verwendung in oxidierenden und feuchten Räumen. Als zusätzliche Schutzmaßnahme gegen... Oxidation und Korrosion werden die Komponenten des Arms vor Montage einzeln lackiert. Installation ausschließlich als Erstausrüstung. Überdruckeinheit unbedingt notwendig.

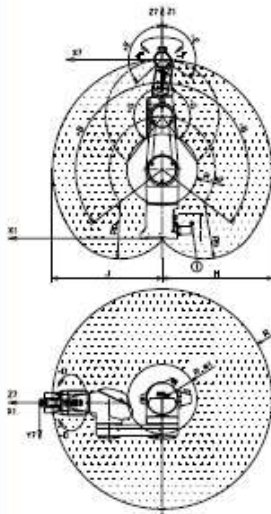
Abmessungen TX60



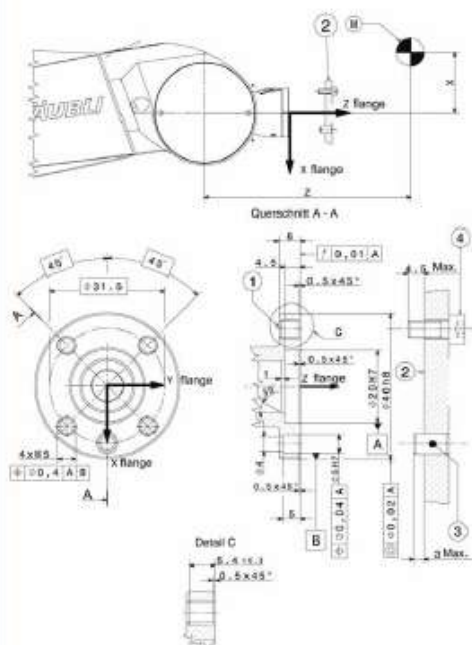
Abmessungen TX60L



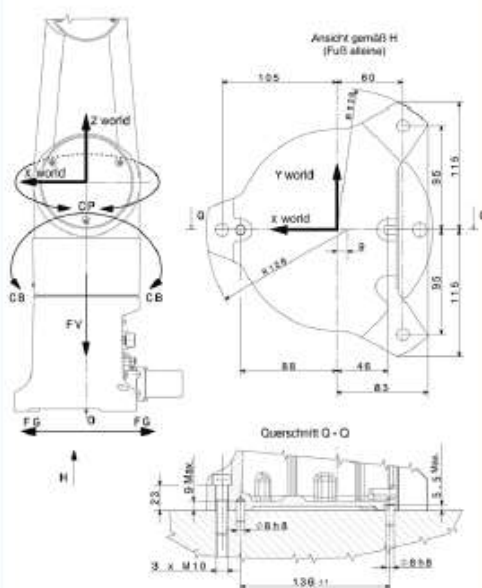
Arbeitsraum



Handgelenk



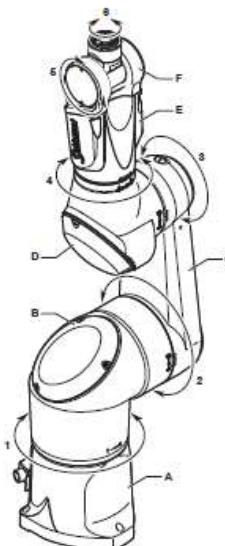
Montage (nicht für Option «Senkrechte Kabeldurchführung»)



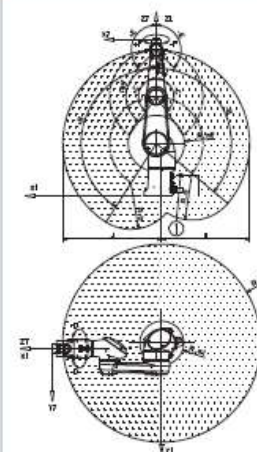
Anlage A3

TYP		TX90	TX90L	TX90XL
Merkmale				
Maximale Traglast (1)		20 kg	15 kg	9 kg
Nominale Traglast		7 kg	6 kg	5 kg
Reichweite (bis Flansch)		1000 mm	1200 mm	1450 mm
Anzahl Freiheitsgrade		6	6	6
Wiederholgenauigkeit ISO 9283		± 0,03 mm	± 0,035 mm	± 0,04 mm
Arbeitsbereich	Achse 1 (A)	± 180°	± 180°	± 180°
	Achse 2 (B)	+147,5°/-130°	+147,5°/-130°	+147,5°/-130°
	Achse 3 (C)	± 145°	± 145°	± 145°
	Achse 4 (D)	± 270°	± 270°	± 270°
	Achse 5 (E)	+140°/-115°	+140°/-115°	+140°/-115°
	Achse 6 (F)	± 270° (2)	± 270° (2)	± 270° (2)
Arbeitsraum	Max. Reichw. zw. den Achsen 1 und 5 (R.M)	900 mm	1100 mm	1350 mm
	Min. Reichw. zw. den Achsen 1 und 5 (R. m1)	200 mm	272 mm	327 mm
	Min. Reichw. zw. den Achsen 2 und 5 (R. m2)	256 mm	320 mm	391 mm
	Reichw. zw den Achsen 3 und 5 (R. b)	425 mm	525 mm	650 mm
Maximale Geschwindigkeit	Achse 1	400°/s	400°/s	400°/s
	Achse 2	400°/s	390°/s	350°/s
	Achse 3	430°/s	400°/s	410°/s
	Achse 4	540°/s	540°/s	540°/s
	Achse 5	475°/s	475°/s	475°/s
	Achse 6	760°/s	760°/s	760°/s
Maximale Geschwindigkeit im Lastenschwerpunkt		10,42 m/s	10,54 m/s	11,09 m/s
Maximale Trägheit	Achse 5	1,5 kg.m²	1,25 kg.m²	1 kg.m²
	Achse 6	0,25 kg.m²	0,20 kg.m²	0,15 kg.m²
Gewicht		111 kg	114 kg	116 kg
Bremsen		Alle Achsen		
Unterarm Verbindungen	Druckluftkreislauf	Zwei 5/2"-Magnetventile (Druckluft) oder monostabile 3/2-Wege-Vakuumentile. Eine direkte Leitung verbindet den Sockel mit dem Vorderarm		
	Signalleitungen	Eine 19polige Anschlussbuchse im Vorderarm (7 verdrehte Leiterpaare, davon 2 geschirmte, 3 verdrehte mit größerem Querschnitt)		
Reinraumklasse - ISO 14644-1		5		
Schutzklasse (*Handgelenk) gemäß Norm NF EN 605299		IP65 (*67)		
Steuerungstyp Stäubli Baureihe CS8		CS8C		
Optionen für besondere Umgebungsbedingungen				
Betriebstemperatur gemäß Norm NF EN 60 204-1		+5°C bis 40°C		
Relative Luftfeuchtigkeit gemäß Norm NF EN 60 204-1		30% bis max. 95% kondensationsfrei		
Montagemöglichkeiten		Boden/Wand/Decke		
Senkrechte Kabeldurchführung (3)		•	•	•
Überdruckausführung (16)		•	•	•
Feuchtraumausführung (21)		•	•	•
Marktspezifische Ausführungen				
CR Cleanroom - Reinraumklasse 4 nach Norm ISO 14644-1		•	•	•
SCR Cleanroom - Reinraumklasse 2 nach Norm ISO 14644-1		•	•	•
Plastics - Euromap 12/67 Schnittstelle zu SGM		•	•	•
Paint - zertifiziert nach ATEX (Europa), Factory Mutual oder cCSAus (USA)		•	•	•

Arbeitsbereich



Arbeitsraum



(1) Unter besonderen Bedingungen möglich, Bitte sprechen Sie uns an.

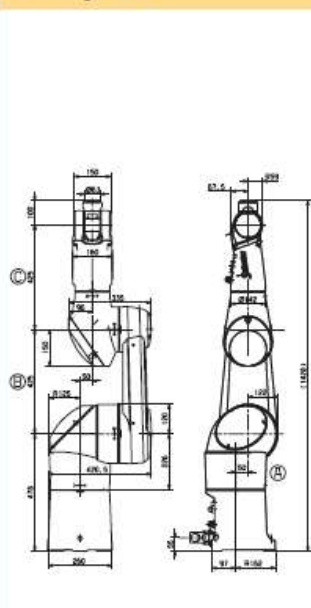
(2) Per Software bis ±18000° konfigurierbar.

(3) Vertikale Kabeldurchführung: Geeignet zum Schutz der Anschlüsse im Sockel oder zur Verankerung in starrer Umgebung. Installation nur bei Erstbestellung möglich.

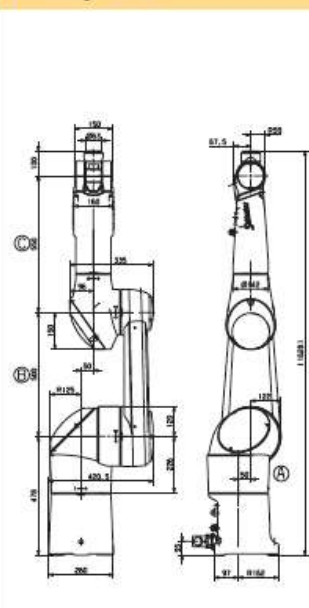
(4) Überdruckeinheit: Zur Verwendung unter sehr staubiger oder spritzwassergefährdeter Produktionsumgebung. Die Überdruckeinheit enthält alle für die interne Druckbeaufschlagung erforderlichen Komponenten. Installation als Erstausstattung oder als Option.

(5) Feuchtraumausführung (Version Humid Environment): Ausgelegt zur speziellen Verwendung in oxidierenden und feuchten Räumen. Als zusätzliche Schutzmaßnahme gegen Oxidation und Korrosion werden die Komponenten des Arms vor Montage einzeln lackiert. Installation ausschließlich als Erstausstattung. Überdruckeinheit unbedingt notwendig.

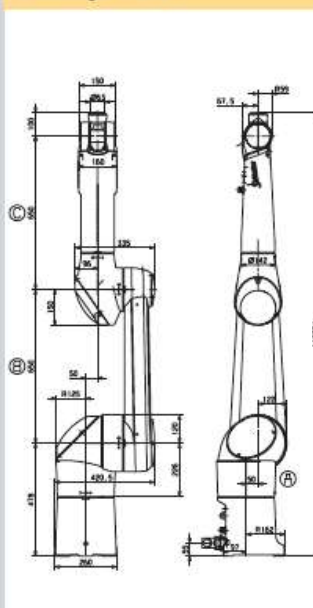
Abmessungen TX90



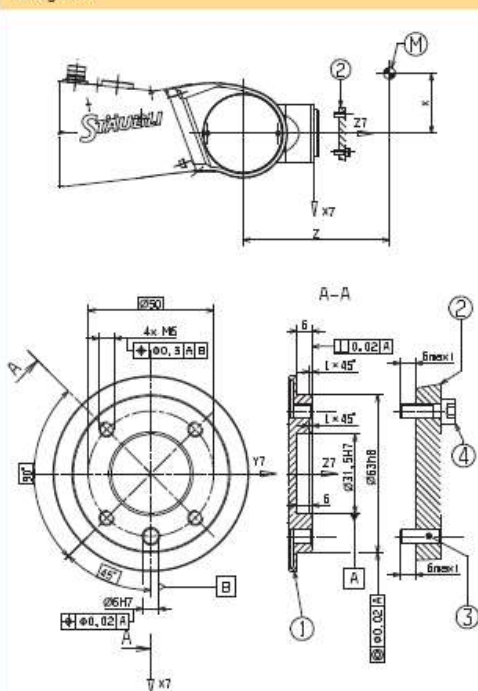
Abmessungen TX90L



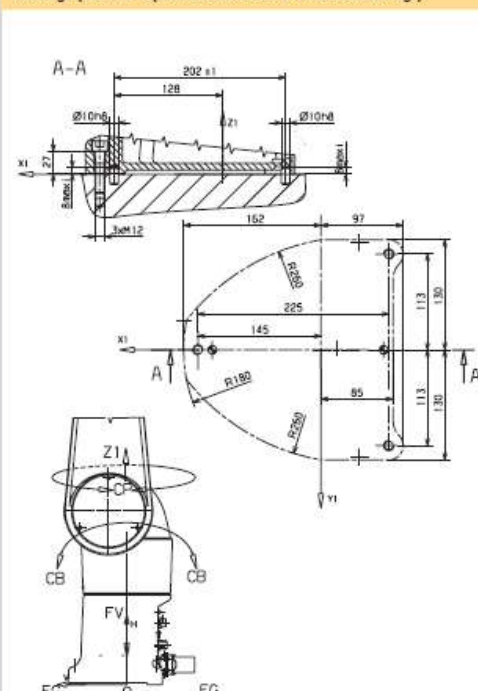
Abmessungen TX90XL



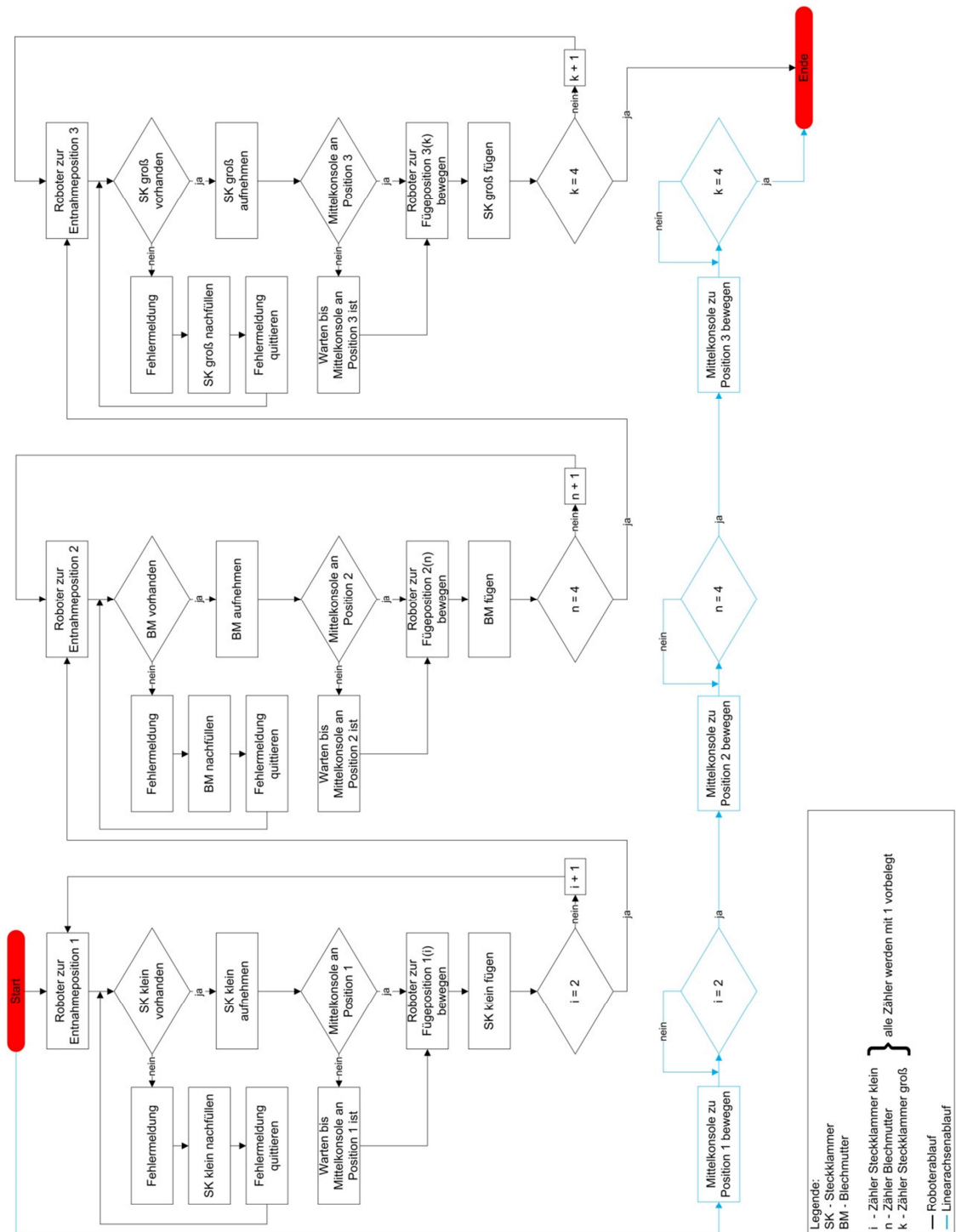
Handgelenk



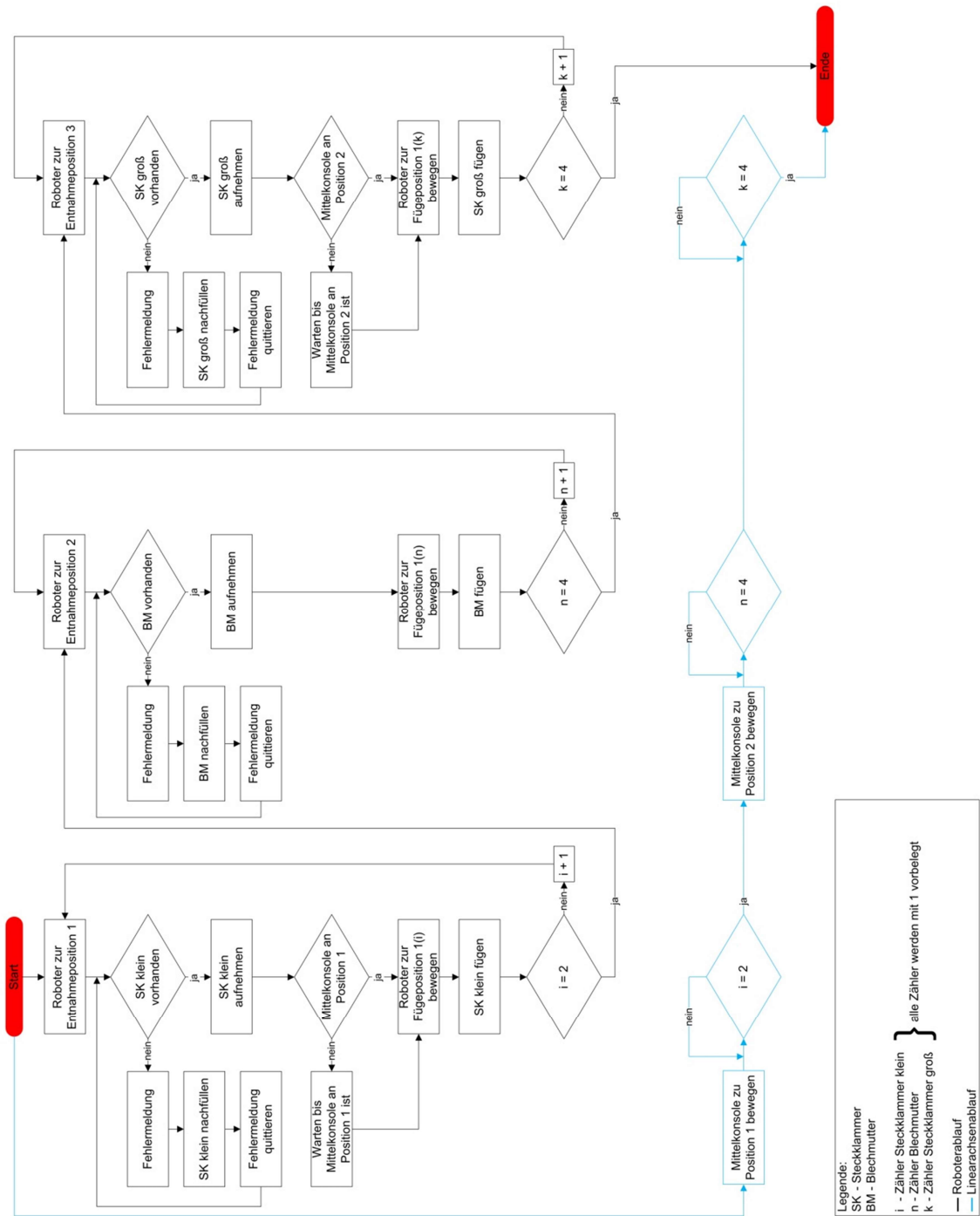
Montage (nicht für Option «Senkrechte Kabeldurchführung»)



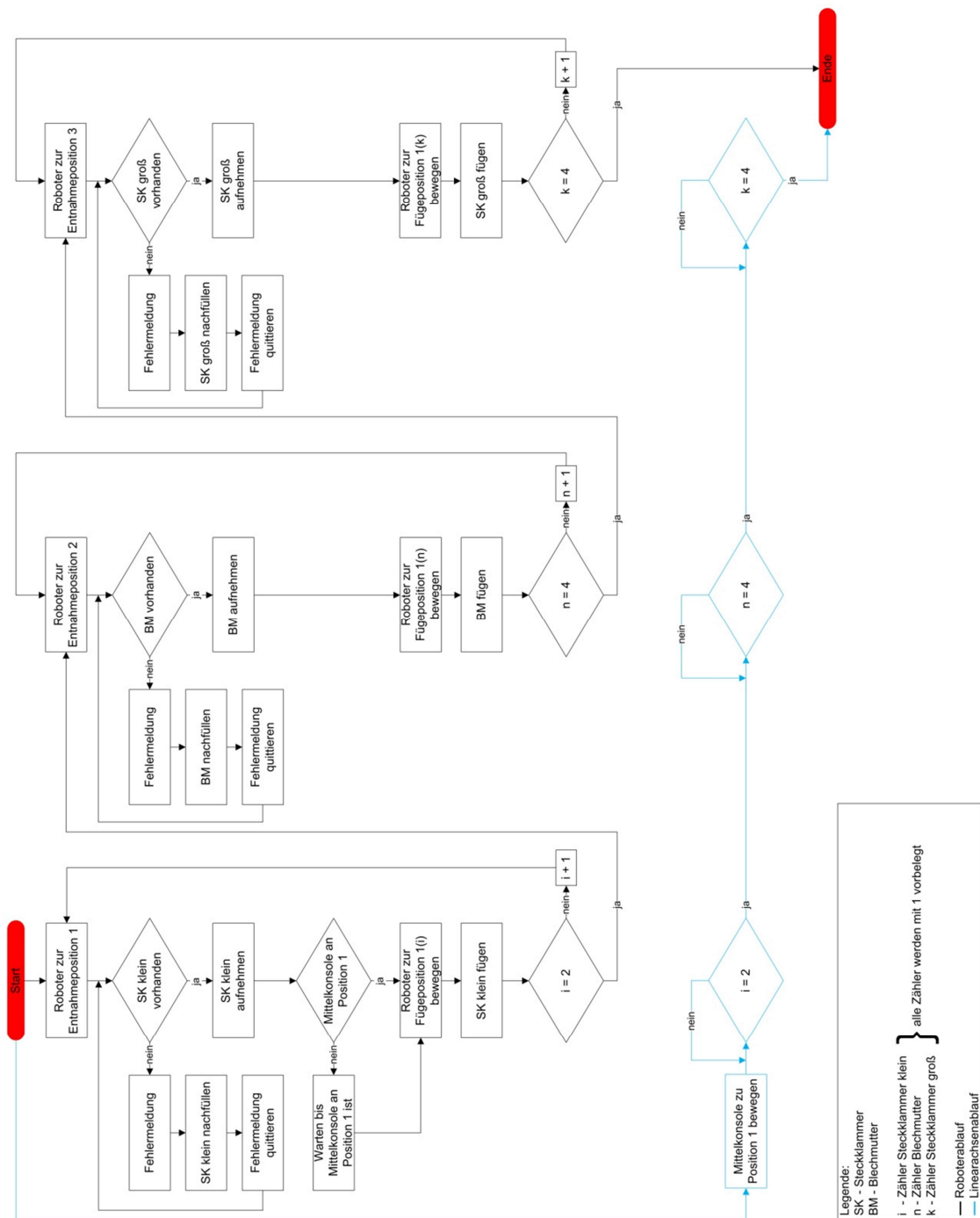
Anlage A4



Anlage A5



Anlage A6



Anlage A7**Roboterablauf**

```
1  begin
2
3      //*****
4      //Roboter zur Startposition fahren
5      //*****
6      movej (pStart,tFlange,mNomSpeed)
7
8      //*****
9      //Steckklammer klein
10     //*****
11
12     //Roboter zur Entnahmeposition 1
13     movej (pEnt1_SVP,tSK,mNomSpeed)
14     movel (pEnt1_VP,tSK,mNomSpeed)
15     movel (pEnt1_EP,tSK,mEnt)
16     waitEndMove()
17     delay(1)
18
19     //Roboter zur Fügeposition 1
20     movel (pEnt1_VP,tSK,mEnt)
21     waitEndMove()
22     movej (pWeg1,tSK,mNomSpeed)
23     movej (pFP1_SVP,tSK,mNomSpeed)
24     movel (pFP1_VP1,tSK,mNomSpeed)
25     waitEndMove()
26     movel (pFP1_VP2,tSK,mNomSpeed)
27     waitEndMove()
28     movel (pFP1,tSK,mFueg)
29     waitEndMove()
30     delay(1)
31
32     //Roboter zur Entnahmeposition 1
33     movel (pFP1_VP2,tSK,mFueg)
34     waitEndMove()
35     movel (pFP1_VP1,tSK,mNomSpeed)
36     movej (pFP1_SVP,tSK,mNomSpeed)
37     movej (pWeg1,tSK,mNomSpeed)
38     movej (pEnt1_VP,tSK,mNomSpeed)
39     waitEndMove()
40     movel (pEnt1_EP,tSK,mEnt)
41     waitEndMove()
42     delay(1)
43
44     //Roboter zur Fügeposition 2
45     movel (pEnt1_VP,tSK,mEnt)
46     waitEndMove()
47     movej (pWeg1,tSK,mNomSpeed)
48     movej (pFP2_SVP,tSK,mNomSpeed)
49     movel (pFP2_VP,tSK,mNomSpeed)
50     waitEndMove()
51     movel (pFP2,tSK,mFueg)
52     waitEndMove()
53     delay(1)
54
55     //*****
```

```
56 //Blechmutter
57 //*****
58
59 //Roboter zur Entnahmeposition 2
60 move1(pFP2_VP,tSK,mFueg)
61 waitEndMove()
62 move1(pFP2_SVP,tSK,mNomSpeed)
63 movej(pWeg1,tSK,mNomSpeed)
64 movej(pEnt2_VP,tBM,mNomSpeed)
65 waitEndMove()
66 move1(pEnt2_EP,tBM,mEnt)
67 waitEndMove()
68
69 //Mittelkonsole zu Montageposition 2 bewegen
70 sSenden="Pos2"
71
72 //Verzögerungszeit um Mittelkonsole zu bewegen
73 delay(2)
74
75 //Roboter zur Fügeposition 3
76 move1(pEnt2_VP,tBM,mEnt)
77 waitEndMove()
78 movej(pFP3_SVP,tBM,mNomSpeed)
79 move1(pFP3_VP,tBM,mNomSpeed)
80 waitEndMove()
81 move1(pFP3,tBM,mFueg)
82 waitEndMove()
83 delay(1)
84
85 //Roboter zur Entnahmeposition 2
86 move1(pFP3_VP,tBM,mFueg)
87 waitEndMove()
88 move1(pFP3_SVP,tBM,mNomSpeed)
89 movej(pEnt2_VP,tBM,mNomSpeed)
90 waitEndMove()
91 move1(pEnt2_EP,tBM,mEnt)
92 waitEndMove()
93 delay(1)
94
95 //Roboter zur Fügeposition 4
96 move1(pEnt2_VP,tBM,mEnt)
97 waitEndMove()
98 movej(pFP4_SVP,tBM,mNomSpeed)
99 move1(pFP4_VP,tBM,mNomSpeed)
100 waitEndMove()
101 move1(pFP4,tBM,mFueg)
102 waitEndMove()
103 delay(1)
104
105 //Roboter zur Entnahmeposition 2
106 move1(pFP4_VP,tBM,mFueg)
107 waitEndMove()
108 move1(pFP4_SVP,tBM,mNomSpeed)
109 movej(pEnt2_VP,tBM,mNomSpeed)
110 waitEndMove()
111 move1(pEnt2_EP,tBM,mEnt)
112 waitEndMove()
113 delay(1)
114
115 //Roboter zur Fügeposition 5
116 move1(pEnt2_VP,tBM,mEnt)
```

```
117     waitEndMove()
118     movej(pFP5_SVP,tBM,mNomSpeed)
119     movel(pFP5_VP,tBM,mNomSpeed)
120     waitEndMove()
121     movel(pFP5,tBM,mFueg)
122     waitEndMove()
123     delay(1)
124     //Roboter zur Entnahmeposition 2
125     movel(pFP5_VP,tBM,mFueg)
126     waitEndMove()
127     movej(pFP5_SVP,tBM,mNomSpeed)
128     movej(pEnt2_VP,tBM,mNomSpeed)
129     waitEndMove()
130     movel(pEnt2_EP,tBM,mEnt)
131     waitEndMove()
132     delay(1)
133
134     //Roboter zur Fügeposition 6
135     movel(pEnt2_VP,tBM,mEnt)
136     waitEndMove()
137     movej(pFP6_SVP,tBM,mNomSpeed)
138     movel(pFP6_VP,tBM,mNomSpeed)
139     waitEndMove()
140     movel(pFP6,tBM,mFueg)
141     waitEndMove()
142     delay(1)
143
144     //*****
145     //Steckklammer groß
146     //*****
147
148     //Roboter zur Entnahmeposition 3
149     movel(pFP6_VP,tBM,mFueg)
150     waitEndMove()
151     movel(pFP6_SVP,tBM,mNomSpeed)
152     movej(pWeg2,tSK,mNomSpeed)
153     movej(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
154     waitEndMove()
155     movel(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
156     waitEndMove()
157
158     //Mittelkonsole zu Montageposition 3 bewegen
159     sSenden="Pos3"
160
161     //Verzögerungszeit um Mittelkonsole zu bewegen
162     delay(2)
163
164     //Roboter zur Fügeposition 7
165     movel(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
166     waitEndMove()
167     movej(pFP7_VP,tSK,mNomSpeed)
168     waitEndMove()
169     movel(pFP7,tSK,mFueg)
170     waitEndMove()
171     delay(1)
172
173     //Roboter zur Entnahmeposition 3
174     movel(pFP7_VP,tSK,mFueg)
175     waitEndMove()
176     movej(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
177     waitEndMove()
```

```
178     movel(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
179     waitEndMove()
180     delay(1)
181
182     //Roboter zur Fügeposition 8
183     movel(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
184     waitEndMove()
185     movej(pFP8_VP,tSK,mNomSpeed)
186     waitEndMove()
187     movel(pFP8,tSK,mFueg)
188     waitEndMove()
189     delay(1)
190
191     //Roboter zur Entnahmeposition 3
192     movel(pFP8_VP,tSK,mFueg)
193     waitEndMove()
194     movej(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
195     waitEndMove()
196     movel(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
197     waitEndMove()
198     delay(1)
199
200     //Roboter zur Fügeposition 9
201     movel(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
202     waitEndMove()
203     movej(pFP9_SVP,tSK,mNomSpeed)
204     movel(pFP9_VP,tSK,mNomSpeed)
205     waitEndMove()
206     movel(pFP9,tSK,mFueg)
207     waitEndMove()
208     delay(1)
209
210     //Roboter zur Entnahmeposition 3
211     movel(pFP9_VP,tSK,mFueg)
212     waitEndMove()
213     movel(pFP9_SVP,tSK,mNomSpeed)
214     movej(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
215     waitEndMove()
216     movel(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
217     waitEndMove()
218     delay(1)
219
220     //Roboter zur Fügeposition 10
221     movel(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
222     waitEndMove()
223     movej(pFP10_SVP,tSK,mNomSpeed)
224     movel(pFP10_VP,tSK,mNomSpeed)
225     waitEndMove()
226     movel(pFP10,tSK,mFueg)
227     waitEndMove()
228     delay(1)
229
230     //*****
231     //Roboter zur Endposition fahren
232     //*****
233     movel(pFP10_VP,tSK,mFueg)
234     waitEndMove()
235     movel(pFP10_SVP,tSK,mNomSpeed)
236     movej(pWeg2,tSK,mNomSpeed)
237     movej(pEnde,tFlange,mNomSpeed)
238     waitEndMove()
```

```
239  
240 end
```

Linearachsenablauf

```
1 begin  
2  
3 //Mittelkonsole zu Montageposition 1 bewegen  
4 movel(pPos1, tMittelkonsole, mNomSpeed)  
5 waitEndMove()  
6  
7 //Mittelkonsole zu Montageposition 2 bewegen  
8 wait(sEingang=="Pos2")  
9 movel(pPos2, tMittelkonsole, mNomSpeed)  
10 waitEndMove()  
11  
12 //Mittelkonsole zu Montageposition 3 bewegen  
13 wait(sEingang=="Pos3")  
14 movel(pPos3, tMittelkonsole, mNomSpeed)  
15 waitEndMove()  
16  
17 end
```


Anlage A8

Roboterablauf

```
1  begin
2
3      //*****
4      //Roboter zur Startposition fahren
5      //*****
6      movej (pStart,tFlange,mNomSpeed)
7
8      //*****
9      //Steckklammer klein
10     //*****
11
12     //Roboter zur Entnahmeposition 1
13     movej (pEnt1_SVP,tSK,mNomSpeed)
14     movel (pEnt1_VP,tSK,mNomSpeed)
15     movel (pEnt1_EP,tSK,mEnt)
16     waitEndMove()
17     delay(1)
18
19     //Roboter zur Fügeposition 1
20     movel (pEnt1_VP,tSK,mEnt)
21     waitEndMove()
22     movej (pFP1_SVP,tSK,mNomSpeed)
23     movel (pFP1_VP,tSK,mNomSpeed)
24     waitEndMove()
25     movel (pFP1,tSK,mFueg)
26     waitEndMove()
27     delay(1)
28
29     //Roboter zur Entnahmeposition 1
30     movel (pFP1_VP,tSK,mFueg)
31     waitEndMove()
32     movej (pFP1_SVP,tSK,mNomSpeed)
33     movej (pEnt1_VP,tSK,mNomSpeed)
34     waitEndMove()
35     movel (pEnt1_EP,tSK,mEnt)
36     waitEndMove()
37     delay(1)
38
39     //Roboter zur Fügeposition 2
40     movel (pEnt1_VP,tSK,mEnt)
41     waitEndMove()
42     movej (pFP2_SVP,tSK,mNomSpeed)
43     movel (pFP2_VP1,tSK,mNomSpeed)
44     waitEndMove()
45     movel (pFP2_VP2,tSK,mNomSpeed)
46     waitEndMove()
47     movel (pFP2_VP3,tSK,mNomSpeed)
48     waitEndMove()
49     movel (pFP2_VP4,tSK,mNomSpeed)
50     waitEndMove()
51     movel (pFP2,tSK,mFueg)
52     waitEndMove()
53     delay(1)
54
55     //*****
```

```
56 //Blechmutter
57 //*****
58
59 //Roboter zur Entnahmeposition 2
60 movel (pFP2_VP3, tSK, mFueg)
61 waitEndMove ()
62 movel (pFP2_VP2, tSK, mNomSpeed)
63 waitEndMove ()
64 movel (pFP2_VP1, tSK, mNomSpeed)
65 waitEndMove ()
66 movel (pFP2_SVP, tSK, mNomSpeed)
67 movej (pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
68 waitEndMove ()
69 movel (pEnt2_EP, tBM, mEnt)
70 waitEndMove ()
71
72 //Mittelkonsole zu Montageposition 2 bewegen
73 sSenden="Pos2"
74
75 //Verzögerungszeit um Mittelkonsole zu bewegen
76 delay (2)
77
78 //Roboter zur Fügeposition 3
79 movel (pEnt2_VP, tBM, mEnt)
80 waitEndMove ()
81 movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
82 movej (pFP3_SVP, tBM, mNomSpeed)
83 movel (pFP3_VP, tBM, mNomSpeed)
84 waitEndMove ()
85 movel (pFP3, tBM, mFueg)
86 waitEndMove ()
87 delay (1)
88
89 //Roboter zur Entnahmeposition 2
90 movel (pFP3_VP, tBM, mFueg)
91 waitEndMove ()
92 movel (pFP3_SVP, tBM, mNomSpeed)
93 movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
94 movej (pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
95 waitEndMove ()
96 movel (pEnt2_EP, tBM, mEnt)
97 waitEndMove ()
98 delay (1)
99
100 //Roboter zur Fügeposition 4
101 movel (pEnt2_VP, tBM, mEnt)
102 waitEndMove ()
103 movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
104 movej (pFP4_SVP, tBM, mNomSpeed)
105 movel (pFP4_VP, tBM, mNomSpeed)
106 waitEndMove ()
107 movel (pFP4, tBM, mFueg)
108 waitEndMove ()
109 delay (1)
110
111 //Roboter zur Entnahmeposition 2
112 movel (pFP4_VP, tBM, mFueg)
113 waitEndMove ()
114 movel (pFP4_SVP, tBM, mNomSpeed)
115 movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
116 movej (pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
```

```
117     waitEndMove()
118     moveL(pEnt2_EP, tBM, mEnt)
119     waitEndMove()
120     delay(1)
121
122     //Roboter zur Fügeposition 5
123     moveL(pEnt2_VP, tBM, mEnt)
124     waitEndMove()
125     moveJ(pWeg1, tBM, mNomSpeed)
126     moveJ(pFP5_SVP, tBM, mNomSpeed)
127     moveL(pFP5_VP, tBM, mNomSpeed)
128     waitEndMove()
129     moveL(pFP5, tBM, mFueg)
130     waitEndMove()
131     delay(1)
132
133     //Roboter zur Entnahmeposition 2
134     moveL(pFP5_VP, tBM, mFueg)
135     waitEndMove()
136     moveL(pFP5_SVP, tBM, mNomSpeed)
137     moveJ(pWeg1, tBM, mNomSpeed)
138     moveJ(pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
139     waitEndMove()
140     moveL(pEnt2_EP, tBM, mEnt)
141     waitEndMove()
142     delay(1)
143
144     //Roboter zur Fügeposition 6
145     moveL(pEnt2_VP, tBM, mEnt)
146     waitEndMove()
147     moveJ(pWeg1, tBM, mNomSpeed)
148     moveJ(pFP6_SVP, tBM, mNomSpeed)
149     moveL(pFP6_VP, tBM, mNomSpeed)
150     waitEndMove()
151     moveL(pFP6, tBM, mFueg)
152     waitEndMove()
153     delay(1)
154
155     //*****
156     //Steckklammer groß
157     //*****
158
159     //Roboter zur Entnahmeposition 3
160     moveL(pFP6_VP, tBM, mFueg)
161     waitEndMove()
162     moveL(pFP6_SVP, tBM, mNomSpeed)
163     moveJ(pWeg2, tSK, mNomSpeed)
164     moveJ(pEnt3_VP, tSK, mNomSpeed)
165     waitEndMove()
166     moveL(pEnt3_EP, tSK, mEnt)
167     waitEndMove()
168     delay(1)
169
170     //Roboter zur Fügeposition 7
171     moveL(pEnt3_VP, tSK, mEnt)
172     waitEndMove()
173     moveJ(pFP7_SVP, tSK, mNomSpeed)
174     moveL(pFP7_VP, tSK, mNomSpeed)
175     waitEndMove()
176     moveL(pFP7, tSK, mFueg)
177     waitEndMove()
```

```
178     delay(1)
179
180     //Roboter zur Entnahmeposition 3
181     moveL(pFP7_VP,tSK,mFueg)
182     waitEndMove()
183     moveL(pFP7_SVP,tSK,mNomSpeed)
184     moveJ(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
185     waitEndMove()
186     moveL(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
187     waitEndMove()
188     delay(1)
189
190     //Roboter zur Fügeposition 8
191     moveL(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
192     waitEndMove()
193     moveJ(pFP8_SVP,tSK,mNomSpeed)
194     moveL(pFP8_VP,tSK,mNomSpeed)
195     waitEndMove()
196     moveL(pFP8,tSK,mFueg)
197     waitEndMove()
198     delay(1)
199
200     //Roboter zur Entnahmeposition 3
201     moveL(pFP8_VP,tSK,mFueg)
202     waitEndMove()
203     moveL(pFP8_SVP,tSK,mNomSpeed)
204     moveJ(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
205     waitEndMove()
206     moveL(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
207     waitEndMove()
208     delay(1)
209
210     //Roboter zur Fügeposition 9
211     moveL(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
212     waitEndMove()
213     moveJ(pFP9_SVP,tSK,mNomSpeed)
214     moveL(pFP9_VP,tSK,mNomSpeed)
215     waitEndMove()
216     moveL(pFP9,tSK,mFueg)
217     waitEndMove()
218     delay(1)
219
220     //Roboter zur Entnahmeposition 3
221     moveL(pFP9_VP,tSK,mFueg)
222     waitEndMove()
223     moveL(pFP9_SVP,tSK,mNomSpeed)
224     moveJ(pEnt3_VP,tSK,mNomSpeed)
225     waitEndMove()
226     moveL(pEnt3_EP,tSK,mEnt)
227     waitEndMove()
228     delay(1)
229
230     //Roboter zur Fügeposition 10
231     moveL(pEnt3_VP,tSK,mEnt)
232     waitEndMove()
233     moveJ(pFP10_SVP,tSK,mNomSpeed)
234     moveL(pFP10_VP,tSK,mNomSpeed)
235     waitEndMove()
236     moveL(pFP10,tSK,mFueg)
237     waitEndMove()
238     delay(1)
```

```
239
240 //*****
241 //Roboter zur Endposition fahren
242 //*****
243 move1(pFP10_VP,tSK,mFueg)
244 waitEndMove()
245 move1(pFP10_SVP,tSK,mNomSpeed)
246 movej(pWeg2,tSK,mNomSpeed)
247 movej(pEnde,tFlange,mNomSpeed)
248 waitEndMove()
249
250 end
```

Linearachsenablauf

```
1 begin
2
3 //Mittelkonsole zu Montageposition 1 bewegen
4 move1(pPos1, tMittelkonsole, mNomSpeed)
5 waitEndMove()
6
7 //Mittelkonsole zu Montageposition 2 bewegen
8 wait(sEingang=="Pos2")
9 move1(pPos2, tMittelkonsole, mNomSpeed)
10 waitEndMove()
11
12 end
```

Anlage A9

Roboterablauf

Roboterablauf

```
1  begin
2
3      //*****
4      //Roboter zur Startposition fahren
5      //*****
6      movej(pStart,tFlange,mNomSpeed)
7
8      //*****
9      //Steckklammer klein
10     //*****
11
12     //Roboter zur Entnahmeposition 1
13     movej(pEnt1_SVP,tSK,mNomSpeed)
14     movel(pEnt1_VP,tSK,mNomSpeed)
15     movel(pEnt1_EP,tSK,mEnt)
16     waitEndMove()
17     delay(1)
18
19     //Roboter zur Fügeposition 1
20     movel(pEnt1_VP,tSK,mEnt)
21     waitEndMove()
22     movej(pFP1_SVP,tSK,mNomSpeed)
23     movel(pFP1_VP,tSK,mNomSpeed)
24     waitEndMove()
25     movel(pFP1,tSK,mFueg)
26     waitEndMove()
27     delay(1)
28
29     //Roboter zur Entnahmeposition 1
30     movel(pFP1_VP,tSK,mFueg)
31     waitEndMove()
32     movej(pFP1_SVP,tSK,mNomSpeed)
33     movej(pEnt1_VP,tSK,mNomSpeed)
34     waitEndMove()
35     movel(pEnt1_EP,tSK,mEnt)
36     waitEndMove()
37     delay(1)
38
39     //Roboter zur Fügeposition 2
40     movel(pEnt1_VP,tSK,mEnt)
41     waitEndMove()
42     movej(pFP2_SVP,tSK,mNomSpeed)
43     movel(pFP2_VP,tSK,mNomSpeed)
44     waitEndMove()
45     movel(pFP2,tSK,mFueg)
46     waitEndMove()
47     delay(1)
48
49     //*****
50     //Blechmutter
51     //*****
52
53     //Roboter zur Entnahmeposition 2
```

```
54     movel (pFP2_VP, tSK, mFueg)
55     waitEndMove ()
56     movel (pFP2_SVP, tSK, mNomSpeed)
57     movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
58     movej (pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
59     waitEndMove ()
60     movel (pEnt2_EP, tBM, mEnt)
61     waitEndMove ()
62
63     //Roboter zur Fügeposition 3
64     movel (pEnt2_VP, tBM, mEnt)
65     waitEndMove ()
66     movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
67     movej (pFP3_SVP, tBM, mNomSpeed)
68     movel (pFP3_VP, tBM, mNomSpeed)
69     waitEndMove ()
70     movel (pFP3, tBM, mFueg)
71     waitEndMove ()
72     delay (1)
73
74     //Roboter zur Entnahmeposition 2
75     movel (pFP3_VP, tBM, mFueg)
76     waitEndMove ()
77     movel (pFP3_SVP, tBM, mNomSpeed)
78     movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
79     movej (pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
80     waitEndMove ()
81     movel (pEnt2_EP, tBM, mEnt)
82     waitEndMove ()
83     delay (1)
84
85     //Roboter zur Fügeposition 4
86     movel (pEnt2_VP, tBM, mEnt)
87     waitEndMove ()
88     movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
89     movej (pFP4_SVP, tBM, mNomSpeed)
90     movel (pFP4_VP, tBM, mNomSpeed)
91     waitEndMove ()
92     movel (pFP4, tBM, mFueg)
93     waitEndMove ()
94     delay (1)
95
96     //Roboter zur Entnahmeposition 2
97     movel (pFP4_VP, tBM, mFueg)
98     waitEndMove ()
99     movel (pFP4_SVP, tBM, mNomSpeed)
100    movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
101    movej (pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
102    waitEndMove ()
103    movel (pEnt2_EP, tBM, mEnt)
104    waitEndMove ()
105    delay (1)
106
107    //Roboter zur Fügeposition 5
108    movel (pEnt2_VP, tBM, mEnt)
109    waitEndMove ()
110    movej (pWeg1, tBM, mNomSpeed)
111    movej (pFP5_SVP, tBM, mNomSpeed)
112    movel (pFP5_VP, tBM, mNomSpeed)
113    waitEndMove ()
114    movel (pFP5, tBM, mFueg)
```

```
115     waitEndMove()
116     delay(1)
117
118     //Roboter zur Entnahmeposition 2
119     move1(pFP5_VP, tBM, mFueg)
120     waitEndMove()
121     move1(pFP5_SVP, tBM, mNomSpeed)
122     movej(pWeg1, tBM, mNomSpeed)
123     movej(pEnt2_VP, tBM, mNomSpeed)
124     waitEndMove()
125     move1(pEnt2_EP, tBM, mEnt)
126     waitEndMove()
127     delay(1)
128
129     //Roboter zur Fügeposition 6
130     move1(pEnt2_VP, tBM, mEnt)
131     waitEndMove()
132     movej(pWeg1, tBM, mNomSpeed)
133     movej(pFP6_SVP, tBM, mNomSpeed)
134     move1(pFP6_VP, tBM, mNomSpeed)
135     waitEndMove()
136     move1(pFP6, tBM, mFueg)
137     waitEndMove()
138     delay(1)
139
140     //*****
141     //Steckklammer groß
142     //*****
143
144     //Roboter zur Entnahmeposition 3
145     move1(pFP6_VP, tBM, mFueg)
146     waitEndMove()
147     move1(pFP6_SVP, tBM, mNomSpeed)
148     movej(pEnt3_VP, tSK, mNomSpeed)
149     waitEndMove()
150     move1(pEnt3_EP, tSK, mEnt)
151     waitEndMove()
152
153     //Roboter zur Fügeposition 7
154     move1(pEnt3_VP, tSK, mEnt)
155     waitEndMove()
156     movej(pFP7_SVP, tSK, mNomSpeed)
157     move1(pFP7_VP, tSK, mNomSpeed)
158     waitEndMove()
159     move1(pFP7, tSK, mFueg)
160     waitEndMove()
161     delay(1)
162
163     //Roboter zur Entnahmeposition 3
164     move1(pFP7_VP, tSK, mFueg)
165     waitEndMove()
166     move1(pFP7_SVP, tSK, mNomSpeed)
167     movej(pEnt3_VP, tSK, mNomSpeed)
168     waitEndMove()
169     move1(pEnt3_EP, tSK, mEnt)
170     waitEndMove()
171     delay(1)
172
173     //Roboter zur Fügeposition 8
174     move1(pEnt3_VP, tSK, mEnt)
175     waitEndMove()
```



```
176     movej (pFP8_SVP, tSK, mNomSpeed)
177     movel (pFP8_VP, tSK, mNomSpeed)
178     waitEndMove ()
179     movel (pFP8, tSK, mFueg)
180     waitEndMove ()
181     delay (1)
182
183     //Roboter zur Entnahmeposition 3
184     movel (pFP8_VP, tSK, mFueg)
185     waitEndMove ()
186     movej (pFP8_SVP, tSK, mNomSpeed)
187     movej (pEnt3_VP, tSK, mNomSpeed)
188     waitEndMove ()
189     movel (pEnt3_EP, tSK, mEnt)
190     waitEndMove ()
191     delay (1)
192
193     //Roboter zur Fügeposition 9
194     movel (pEnt3_VP, tSK, mEnt)
195     waitEndMove ()
196     movej (pFP9_SVP, tSK, mNomSpeed)
197     movel (pFP9_VP, tSK, mNomSpeed)
198     waitEndMove ()
199     movel (pFP9, tSK, mFueg)
200     waitEndMove ()
201     delay (1)
202
203     //Roboter zur Entnahmeposition 3
204     movel (pFP9_VP, tSK, mFueg)
205     waitEndMove ()
206     movel (pFP9_SVP, tSK, mNomSpeed)
207     movej (pEnt3_VP, tSK, mNomSpeed)
208     waitEndMove ()
209     movel (pEnt3_EP, tSK, mEnt)
210     waitEndMove ()
211     delay (1)
212
213     //Roboter zur Fügeposition 10
214     movel (pEnt3_VP, tSK, mEnt)
215     waitEndMove ()
216     movej (pFP10_SVP, tSK, mNomSpeed)
217     movel (pFP10_VP, tSK, mNomSpeed)
218     waitEndMove ()
219     movel (pFP10, tSK, mFueg)
220     waitEndMove ()
221     delay (1)
222
223     //*****
224     //Roboter zur Endposition fahren
225     //*****
226     movel (pFP10_VP, tSK, mFueg)
227     waitEndMove ()
228     movel (pFP10_SVP, tSK, mNomSpeed)
229     movej (pWeg2, tSK, mNomSpeed)
230     movej (pEnde, tFlange, mNomSpeed)
231     waitEndMove ()
232
233     end
```

Anlage A10

Technische Daten

In den folgenden Abschnitten finden Sie allgemeine technische Daten zu den Vision-Systemen der In-Sight 5000-Serie.

Technische Daten der Vision-Systeme der Serien 5100, 5100C, 5401, 5400C, 5403 und 5400

Tabelle 3-1: 5100-, 5100C-, 5401-, 5400C-, 5403- und 5400-Vision-System – technische Daten

Detail	5100/5110	5100C	5401/5411	5400C	5403/5413	5400/5410
Firmwaremindestanforderung	In-Sight-Version 4.4.3					
Job/Programmspeicher	128 MB nicht flüchtiger Flash-Speicher. Unbegrenzter Speicherplatz über Remotenetzwerk-Speichergeräte					
Bildverarbeitungsspeicher	256 MB					
Sensortyp	1/3-Zoll-CCD				1/1,8-Zoll-CCD	1/3-Zoll-CCD
Sensoreigenschaften	5,92 mm diagonal, 7,4 x 7,4 µm Quadratpixel	5,952 mm diagonal, 4,65 x 4,65 µm Quadratpixel	5,92 mm diagonal, 7,4 x 7,4 µm Quadratpixel	8,8 mm diagonal, 4,4 x 4,4 µm Quadratpixel	5,92 mm diagonal, 7,4 x 7,4 µm Quadratpixel	
Auflösung (Pixel)	640 x 480		1024 x 768	640 x 480	1600 x 1200	640 x 480
Elektronische Verschlusszeiten	16 µs bis 1000 ms		32 µs bis 1000 ms	16 µs bis 1000 ms	27 µs bis 1000 ms	16 µs bis 1000 ms
Bildaufnahme	Rapid-Reset, progressive Scan, Vollbildverarbeitung					
Bittiefe	256 Graustufen (8 Bit/Pixel)	24-Bit-Farbe	256 Graustufen (8 Bit/Pixel)	24-Bit-Farbe	256 Graustufen (8 Bit/Pixel)	
Bildverstärker/Versatz	Mittels Software gesteuert.					
Bilder pro Sekunde	60 Vollbilder pro Sekunde ¹		17 Vollbilder pro Sekunde ²	60 Vollbilder pro Sekunde ³	14 Vollbilder pro Sekunde ⁴	60 Vollbilder pro Sekunde ⁵
Objektivtyp	C-Mount					
CCD-Ausrichtungsvariabilität ⁶	±0,127 mm (0,005 Zoll), (x und y) von Achse der C-Fassung des Objektivs bis zur Imagermitte.					
Trigger	1 optoisolierter Triggereingang. Externe Softwarebefehle über Ethernet und RS-232C					
Diskrete Eingänge	Nicht integriert. Zusätzliche Eingänge sind über ein kompatibles E/A-Modul verfügbar (siehe Tabelle 1-3 auf Seite 2). Unbegrenzte Eingänge bei Verwendung eines Ethernet-E/A-Systems					

¹ Die maximale Anzahl von Bildern pro Sekunde ist vom Parametersatz abhängig und basiert auf der Mindestbelichtungszeit für eine Vollbildaufnahme.

² Die maximale Anzahl von Bildern pro Sekunde ist vom Parametersatz abhängig und basiert auf einer Belichtungszeit von 8 ms und einer Vollbildaufnahme.

³ Die maximale Anzahl von Bildern pro Sekunde ist vom Parametersatz abhängig und basiert auf der Mindestbelichtungszeit für eine Vollbildaufnahme.

⁴ Die maximale Anzahl von Bildern pro Sekunde ist vom Parametersatz abhängig und basiert auf der Mindestbelichtungszeit für eine Vollbildaufnahme.

⁵ Die maximale Anzahl von Bildern pro Sekunde ist vom Parametersatz abhängig und basiert auf der Mindestbelichtungszeit für eine Vollbildaufnahme.

⁶ Die erwartete Variabilität in der physischen Position des CCD von Vision-System zu Vision-System. Dies entspricht ~±17 Pixel bei einem CCD mit einer Auflösung von 640 x 480. ~±27 Pixel bei einem Vision-System mit einer Auflösung von 1024 x 768.

COGNEX

Detail	5100/5110	5100C	5401/5411	5400C	5403/5413	5400/5410
Diskrete Ausgänge	2 integrierte Hochgeschwindigkeitsausgänge Zusätzliche Ausgänge sind über ein kompatibles E/A-Modul verfügbar (siehe Tabelle 1-3 auf Seite 2). Unbegrenzte Ausgänge bei Verwendung eines Ethernet-E/A-Systems					
Status-LEDs	Spannungsversorgung, Netzwerkstatus, Netzwerkverkehr, 2 benutzerkonfigurierbare LEDs					
Netzwerkcommunication	1 Ethernet-Anschluss, 10/100 BaseT, TCP-/IP-Protokoll Unterstützt DHCP (Standardeinstellung), statische IP-Adressen und die Link-Local IP-Adressenkonfiguration.					
1588 Support ¹	Zeitstempelauflösung: 8 ns Synchronisierungsgenauigkeit mittels transparentem Takt: 5 µs					
Serielle Kommunikation	RS-232C, wenn mit einem kompatiblen E/A-Modul verbunden (siehe Tabelle 1-3 auf Seite 2).					
Stromverbrauch	24 V Gleichstrom ±10 %, max. 500 mA.					
Material	Gegossenes Aluminiumgehäuse					
Fertig stellen	Lackiert					
Befestigung	Acht Befestigungslöcher mit M4-Gewinde (vier vorne und vier hinten)					
Abmessungen	83,4 mm x 124,2 mm x 61,4 mm mit Objektivabdeckung 43,5 mm x 124,2 mm x 61,4 mm ohne Objektivabdeckung (mit Gewindeschutz)					
Gewicht	350 g mit Objektivdeckel, ohne Objektiv.					
Betriebstemperatur	0 °C bis 45 °C					
Lagertemperatur	-30 °C bis 80 °C					
Luftfeuchtigkeit	95 %, nicht kondensierend (Betrieb und Lagerung)					
Schutz	IP67 (mit korrekt installierter Objektivabdeckung)					
Erschütterung	80-G-Erschütterung mit montiertem 150-Gramm-Objektiv gemäß IEC 68-2-27					
Vibration	10 G von 10 bis 500 Hz mit 150-Gramm-Objektiv gemäß IEC 68-2-6					
Richtlinieneinhaltung	CE, FCC, KCC, TÜV SÜD NRTL, RoHS					

¹ 1588 wird nur auf Vision-Systemen mit Firmwareversion 4.5.0 und höher unterstützt.

COGNEX

Abmessungen der Vision-Systeme 5100, 5100C, 5400, 5401, 5400C und 5403

Hinweis:

- Alle Maße sind in Millimeter [Zoll] angegeben und dienen lediglich zu Referenzzwecken.
- Alle technischen Daten können ohne vorherige Bekanntgabe geändert werden.

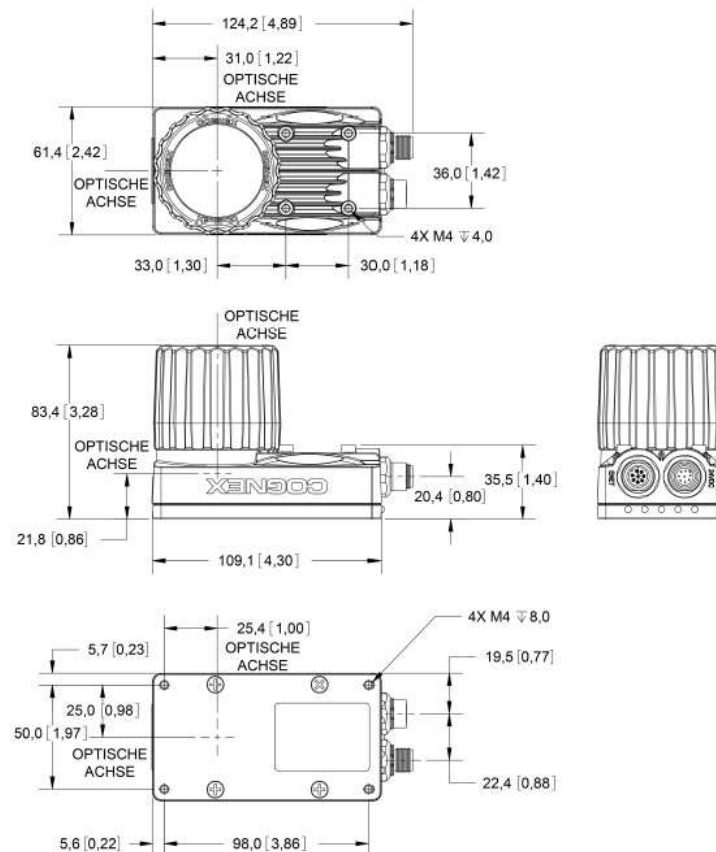


Abbildung 3-6: Abmessungen der Vision-Systeme der Serien 5100, 5100C, 5400, 5401, 5400C und 5403 (mit Objektivdeckel)

Technische Daten

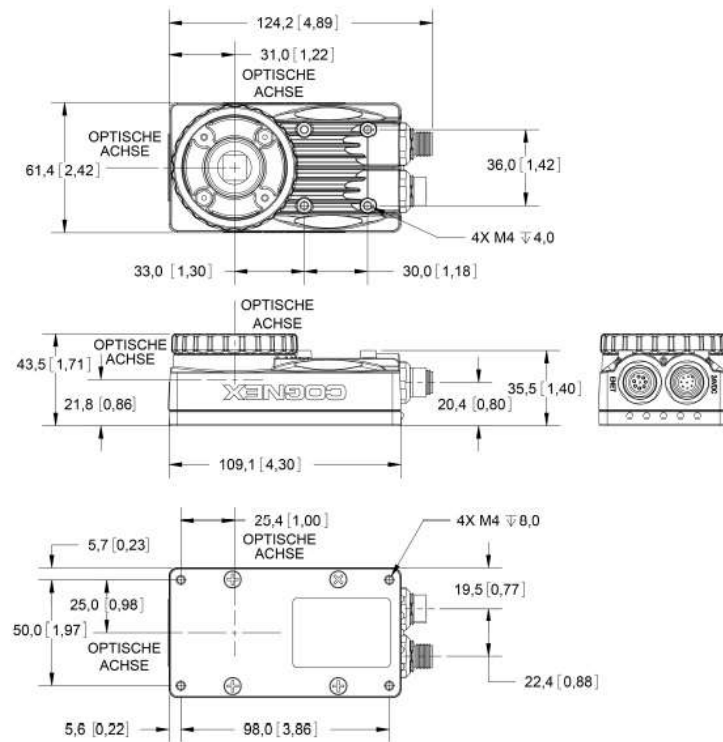


Abbildung 3-7: Abmessungen der Vision-Systeme der Serien 5100, 5100C, 5400, 5401, 5400C und 5403 (ohne Objektivdeckel)

Anlage A11**Machbarkeitsanalyse****1. Prüfung Blechmuttern Mittelkonsole (schwarz und beige)****1.1 Prüfmerkmale**

- Anwesenheit der Blechmutter
- richtige Montage der Blechmutter

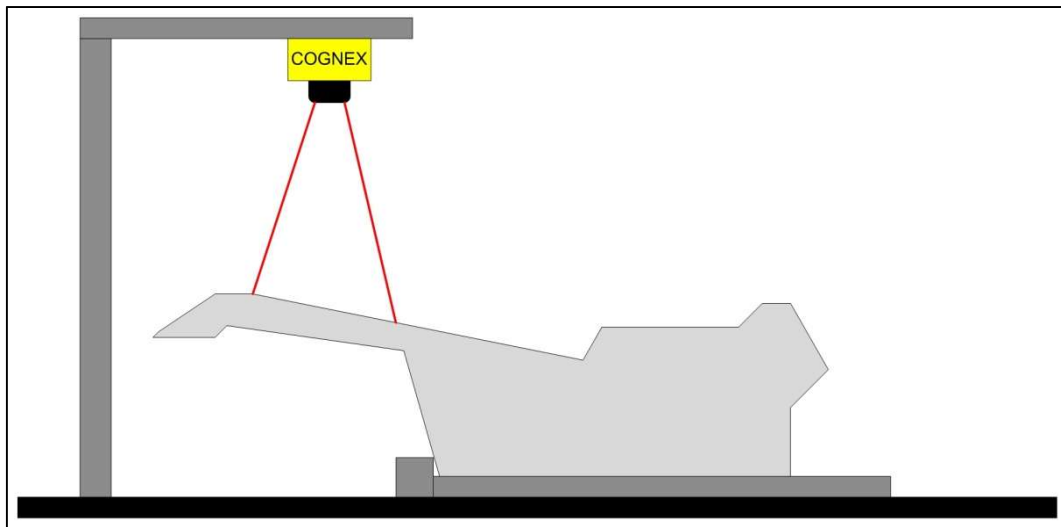
1.2 Versuchsaufbau (Schema)

Abbildung 1: Versuchsaufbau - Prüfung Blechmuttern

1.3 Verwendete Software

- In-Sight Explorer 4.9.1

1.4 Verwendete Hardware

- Cognex In-Sight 5100
- Objektiv: 12 mm
- Auflösung: 640 x 480

1.5 Versuchsparameter

- Optische Entfernung: 38 cm
- Ringbeleuchtung schwarze Mittelkonsole (horizontal/vertikal): ja/ja
- Ringbeleuchtung beige Mittelkonsole (horizontal/vertikal): ja/ja

1.6 Musterbild

- Musterbild einer schwarzen und beige Mittelkonsole
- Definition der Blechmutterposition

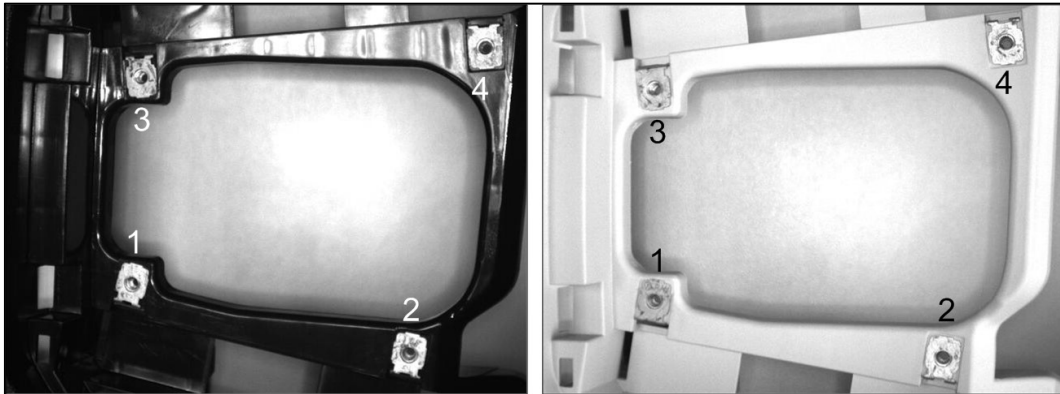


Abbildung 2: Musterbild Blechmuttern
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)

1.7 Einlernen der Konturen

- Erkennen der Kontur mit der Funktion TrainPatMaxPattern

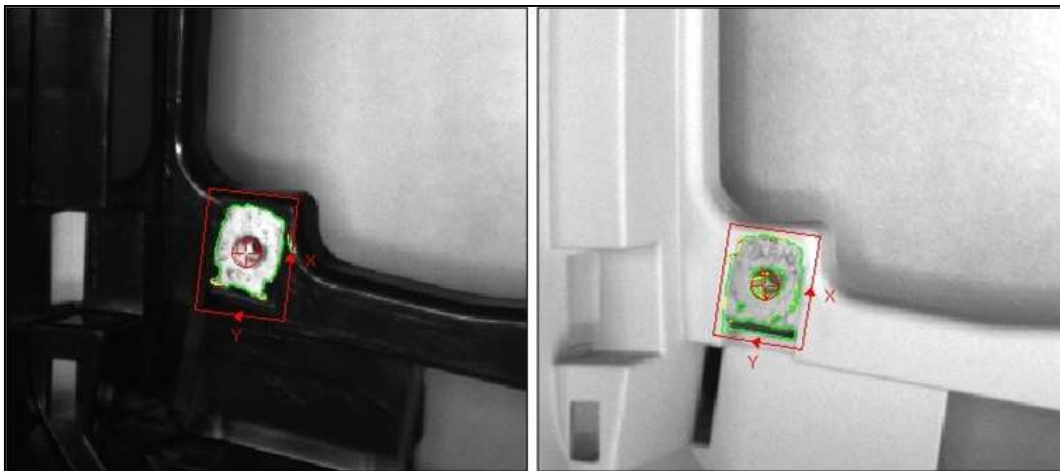


Abbildung 3: Konturerkennung Blechmutter 1

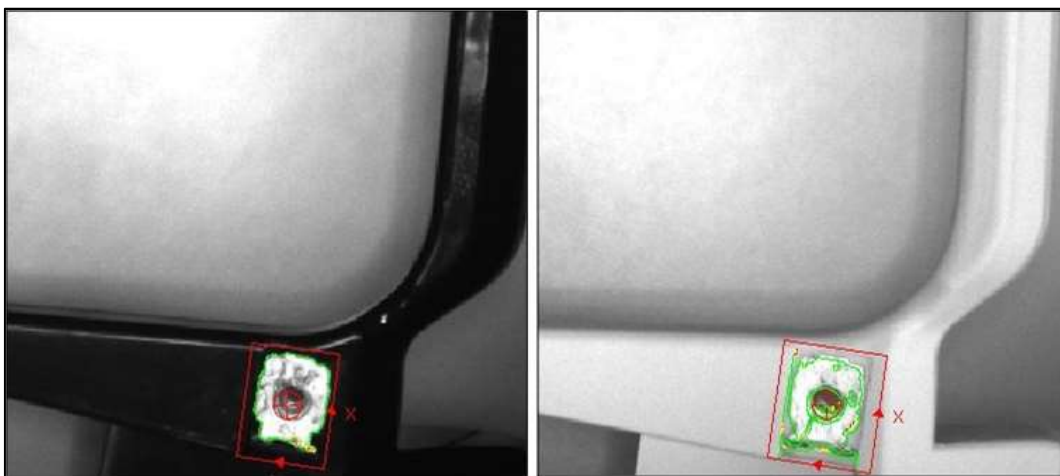


Abbildung 4: Konturerkennung Blechmutter 2

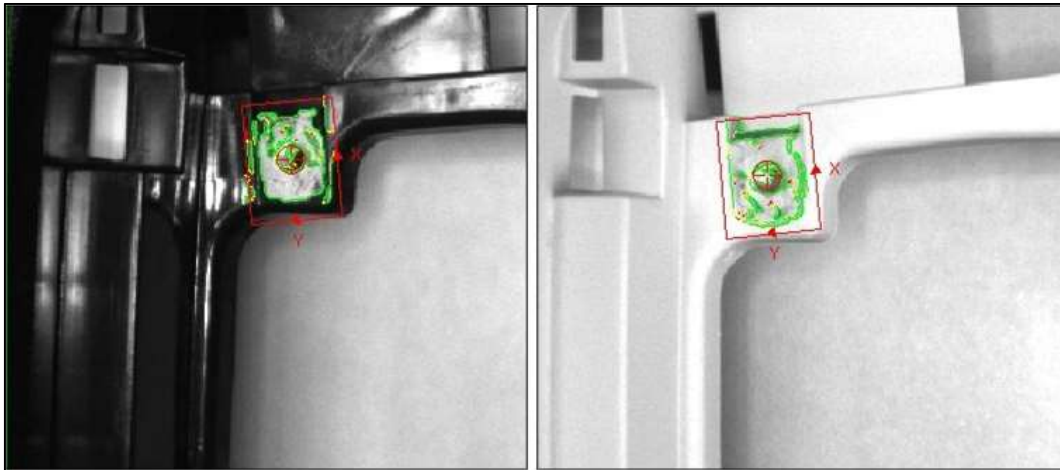


Abbildung 5: Konturerkennung Blechmutter 3

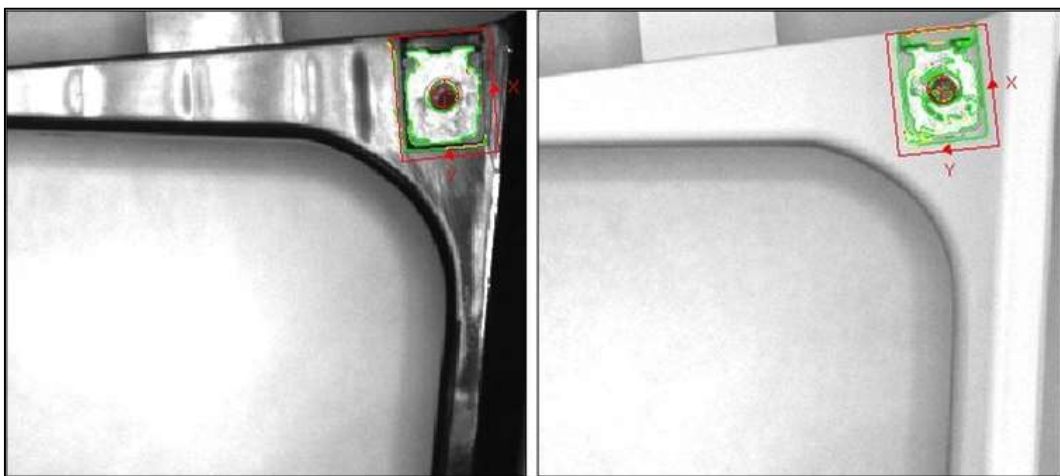


Abbildung 6: Konturerkennung Blechmutter 4

1.8 Fehlerfälle

- an Blechmutter 1 durchgeführt (übertragbar auf Blechmutter 2 - 4)
- Tabelle mit allen Prüfwerten unter 1.9 Prüfwerttabelle
- Anforderungen an Gut-Teil:
 - Güte: größer als 85 %

Fehlerfall	Güte [%]	
	Schwarze Mittelkonsole	Beige Mittelkonsole
kein Teil montiert (s. Abbildung 7)	59,363	49,294
Teil nicht komplett montiert (s. Abbildung 8)	71,498	15,731
Teil schief montiert (s. Abbildung 9)	79,520	65,589

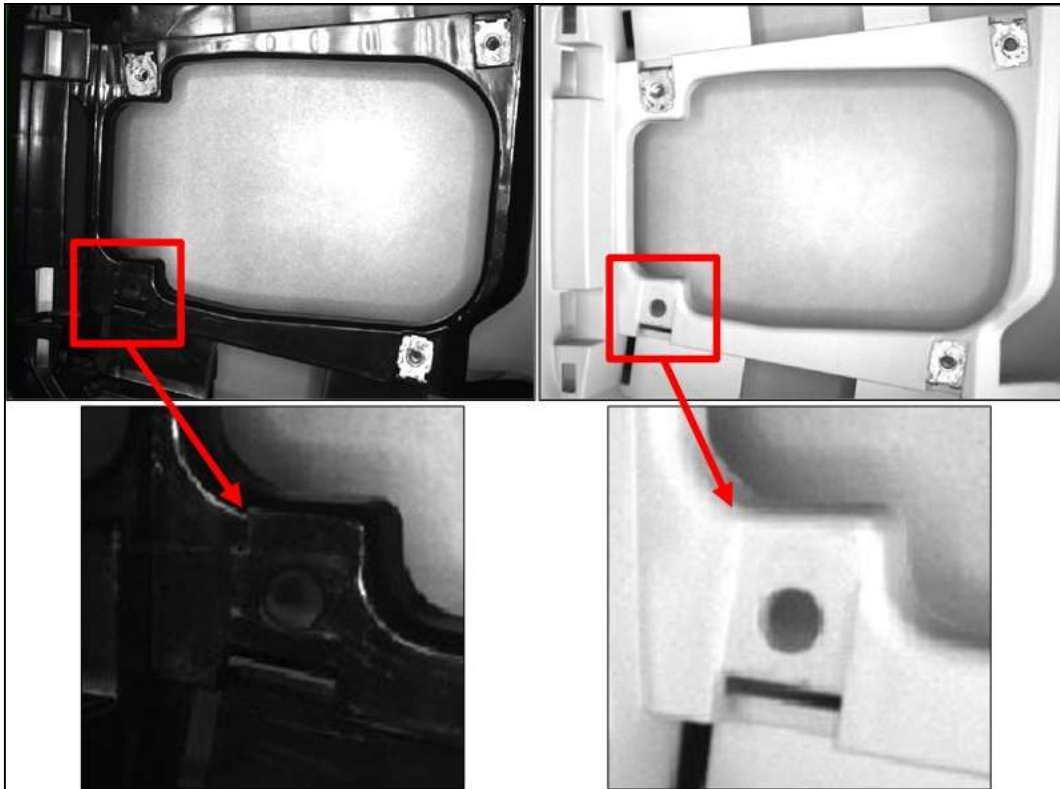


Abbildung 7: Fehlerfall - Blechmutter nicht montiert

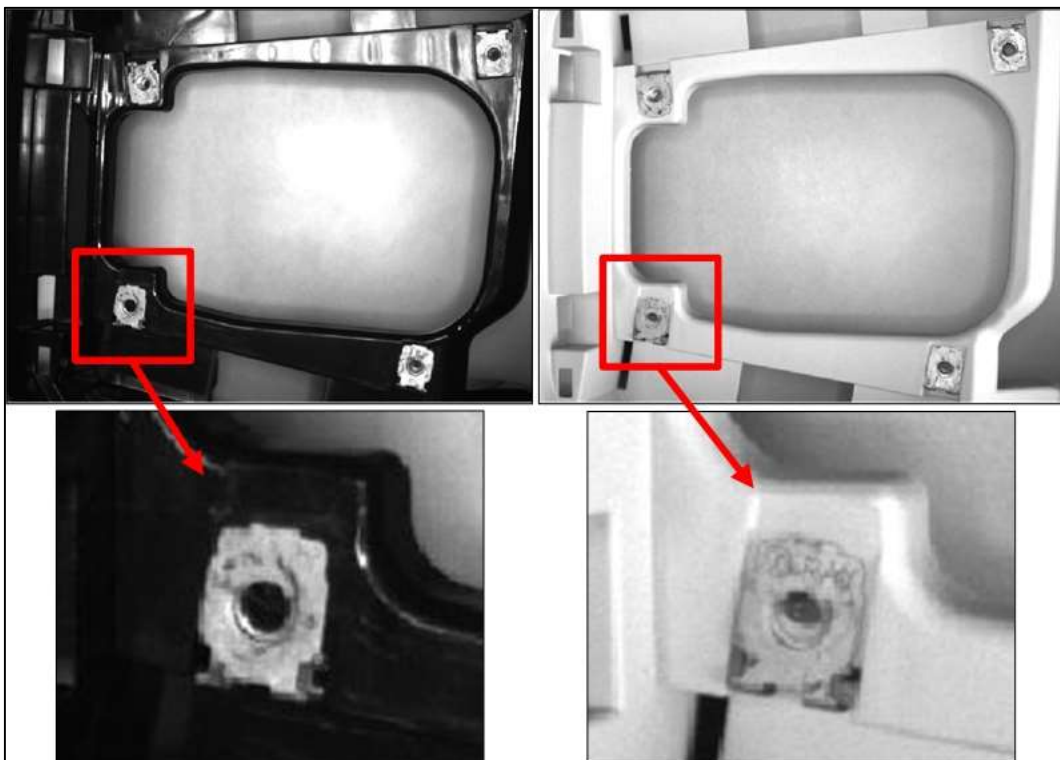


Abbildung 8: Fehlerfall - Blechmutter nicht komplett montiert

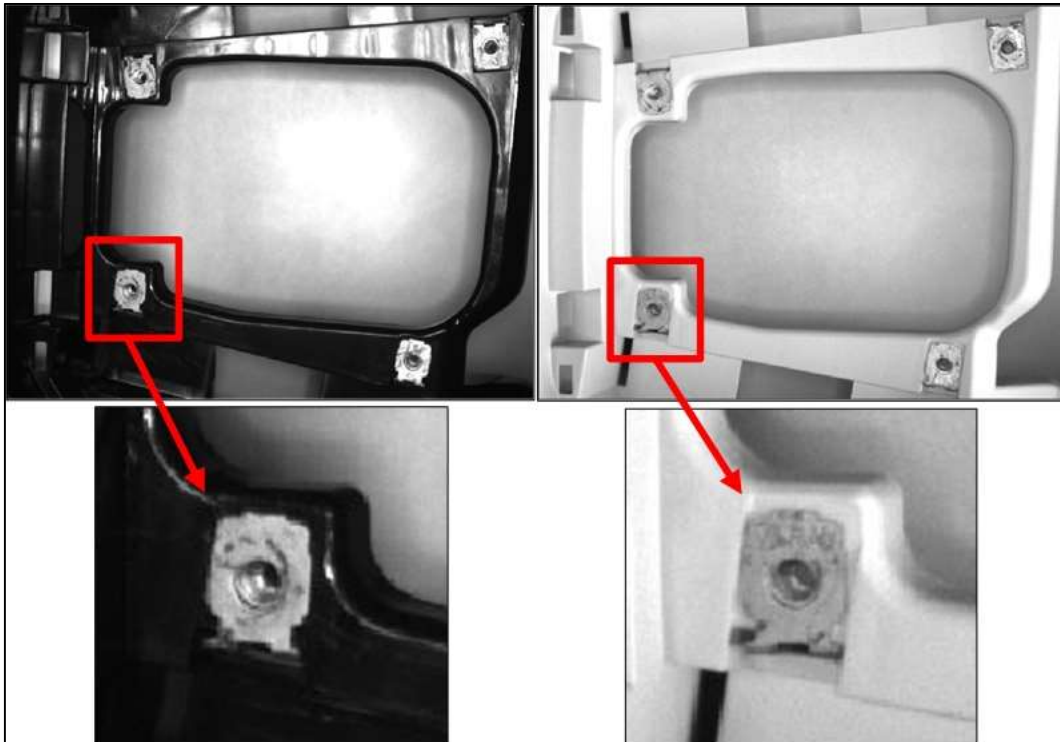


Abbildung 9: Fehlerfall - Blechmutter schief montiert

1.9 Prüfwerttabelle

Prüfkriterium	Testnummer	Güte [%]	
		schwarze Mittelkonsole	beige Mittelkonsole
Teil korrekt montiert	1	93,507	89,308
	2	97,075	89,037
	3	94,661	90,713
	4	95,569	89,896
	5	95,335	91,023
	6	97,445	90,047
	7	93,331	89,856
	8	94,375	88,934
	9	95,596	90,651
	10	93,491	90,541
	Mittelwert	95,039	90,001
kein Teil montiert	1	60,476	48,810
	2	58,692	49,791
	3	60,227	49,921
	4	59,462	48,468
	5	59,265	47,908
	6	59,129	49,568
	7	58,964	50,891
	8	58,798	48,762
	9	60,152	49,902
	10	58,468	48,923
	Mittelwert	59,363	49,294
Teil nicht komplett montiert	1	71,229	15,234
	2	70,447	15,548
	3	70,785	15,296
	4	71,006	16,083
	5	72,528	16,135
	6	72,146	15,653
	7	72,462	15,286
	8	72,365	16,276
	9	70,365	15,845
	10	71,643	15,952
	Mittelwert	71,498	15,731
Teil schief montiert	1	79,764	66,144
	2	80,549	65,802
	3	78,374	65,853
	4	78,842	64,350
	5	79,923	66,538
	6	79,962	65,195
	7	80,165	65,503
	8	78,953	65,395
	9	79,673	64,984
	10	78,996	66,129
	Mittelwert	79,520	65,589

2. Prüfung Steckklammern groß Mittelkonsole (schwarz und beige)

2.1 Prüfmerkmale

- Anwesenheit der Steckklammer groß
- richtige Montage der Steckklammer groß

2.2 Versuchsaufbau (Schema)

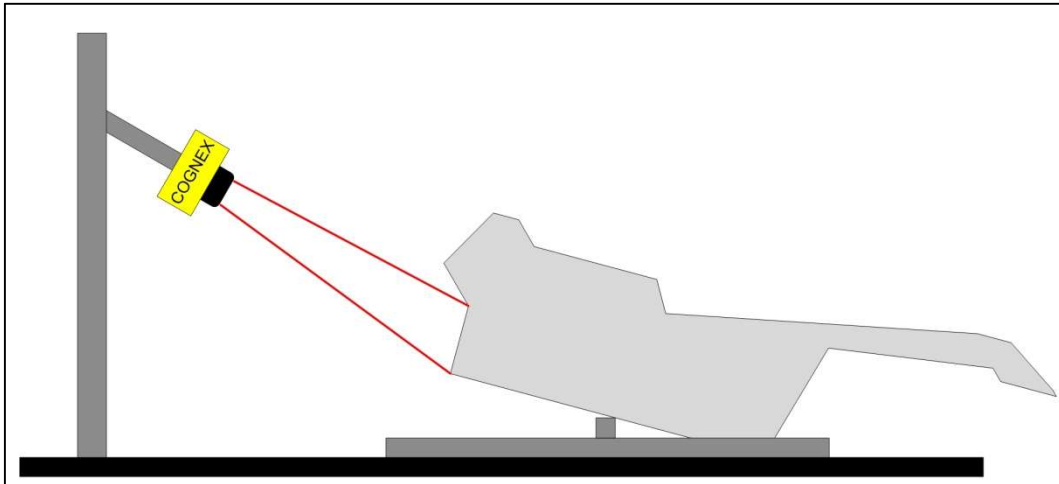


Abbildung 10: Versuchsaufbau - Prüfung Steckklammern groß

2.3 Verwendete Software

- In-Sight Explorer 4.9.1

2.4 Verwendete Hardware

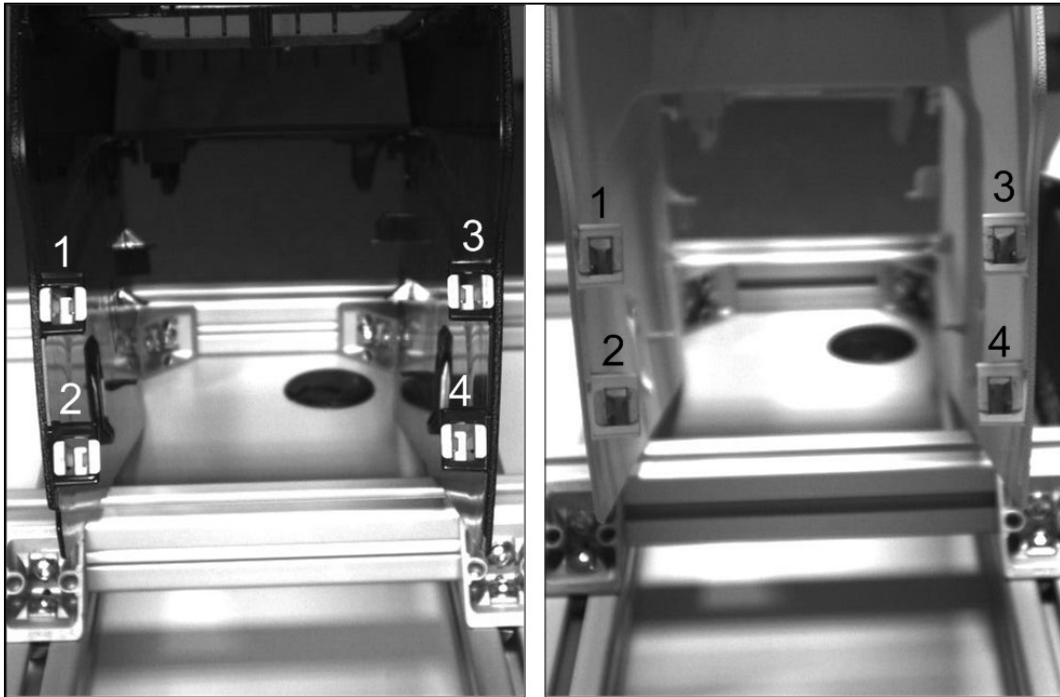
- Cognex In-Sight 5100
- Objektiv: 12 mm
- Auflösung: 640 x 480

2.5 Versuchsparameter

- Optische Entfernung: 45 cm
- Ringbeleuchtung schwarze Mittelkonsole (horizontal/vertikal): ja/ja
- Ringbeleuchtung beige Mittelkonsole (horizontal/vertikal): nein/nein

2.6 Musterbild

- Musterbild einer schwarzen und beige Mittelkonsole
- Definition der Positionen Steckklammern groß



*Abbildung 11: Musterbild Steckklammern groß
(links schwarze Mittelkonsole, rechts beige Mittelkonsole)*

2.7 Einlernen der Konturen

- Erkennen der Kontur mit der Funktion TrainPatMaxPattern

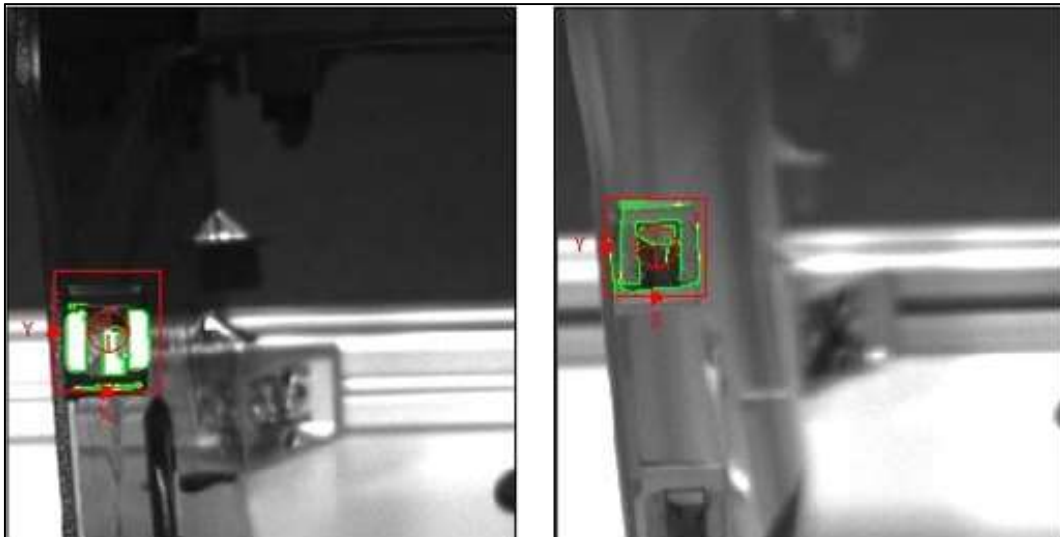


Abbildung 12: Konturerkennung Steckklammer groß 1

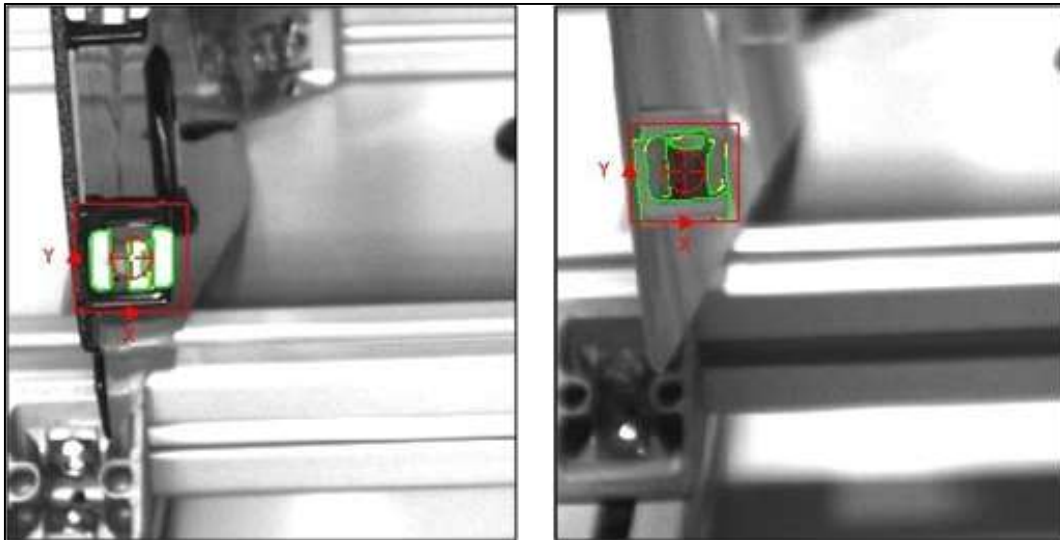


Abbildung 13: Konturerkennung Steckklammern groß 2

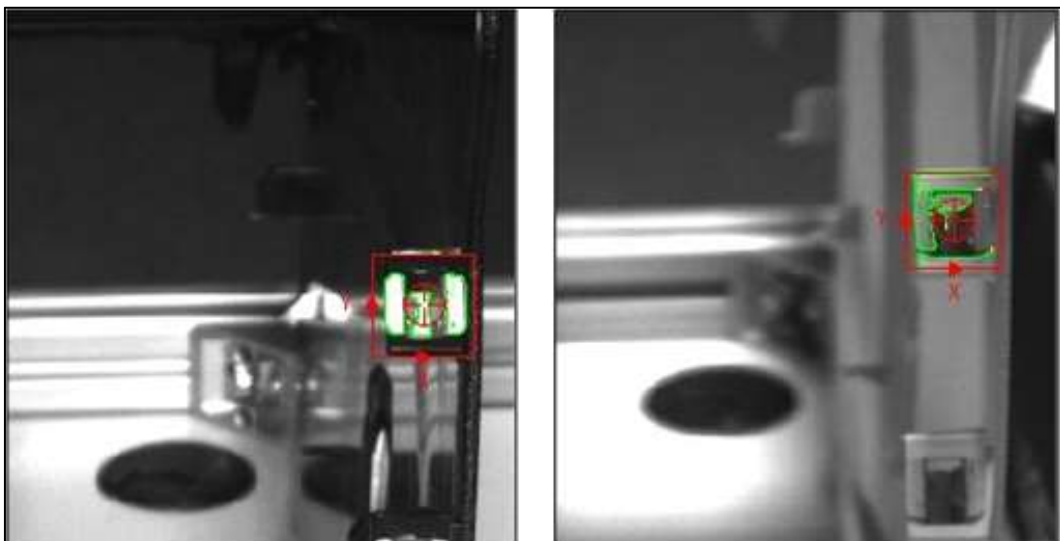


Abbildung 14: Konturerkennung Steckklammern groß 3

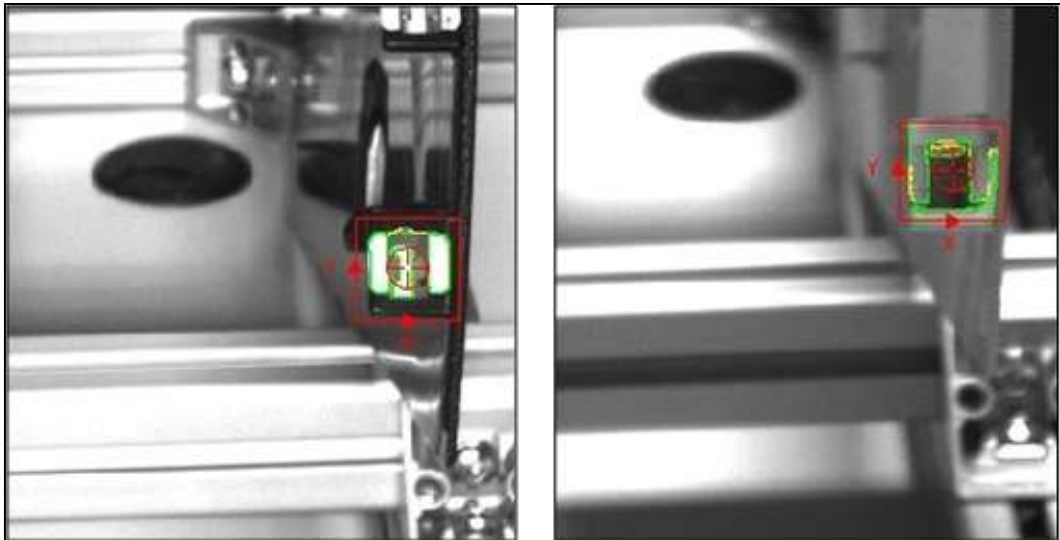


Abbildung 15: Konturerkennung Steckklammer groß 4

2.8 Fehlerfälle

- an Steckklammer groß 1 durchgeführt (übertragbar auf Blechmutter 2 - 4)
- Tabelle mit allen Prüfwerten unter 2.9 Prüfwerttabelle
- Anforderungen an Gut-Teil:
 - Güte: größer als 90 %

Fehlerfall	Güte [%]	
	Schwarze Mittelkonsole	Beige Mittelkonsole
kein Teil montiert (s. Abbildung 16)	10,968	50,776
Teil nur angefädelt (s. Abbildung 17)	46,458	26,810
Teil schief montiert (s. Abbildung 18)	35,602	52,156
Teil nicht nachgedrückt (s. Abbildung 19)	14,916	46,870



Abbildung 16: Fehlerfall - Steckklammer groß nicht montiert

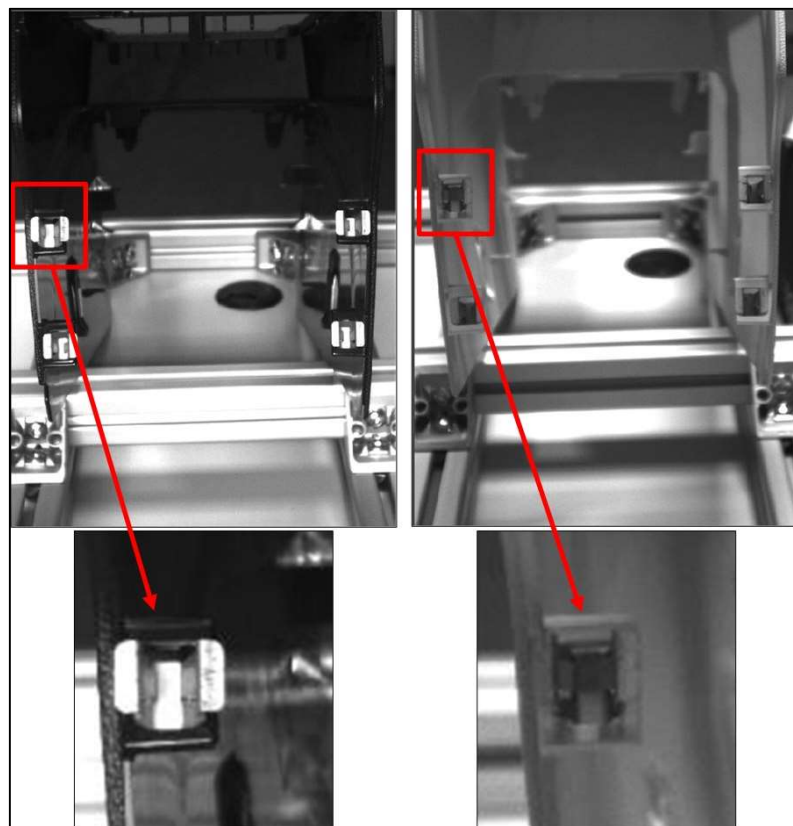


Abbildung 17: Fehlerfall - Steckklammer groß nur angefädelt

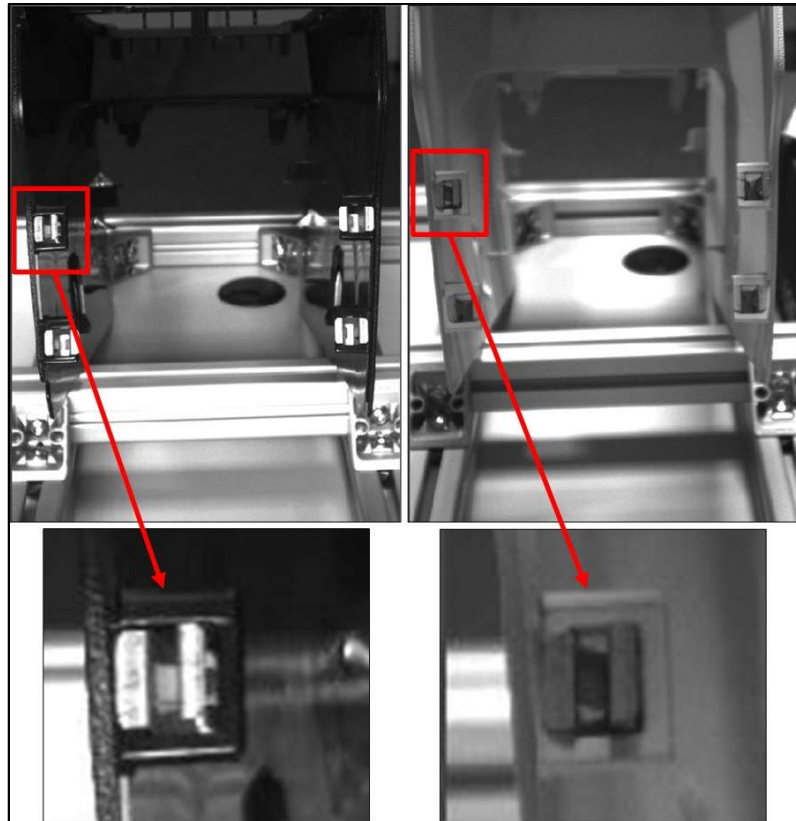


Abbildung 18: Fehlerfall - Steckklammer groß schief montiert

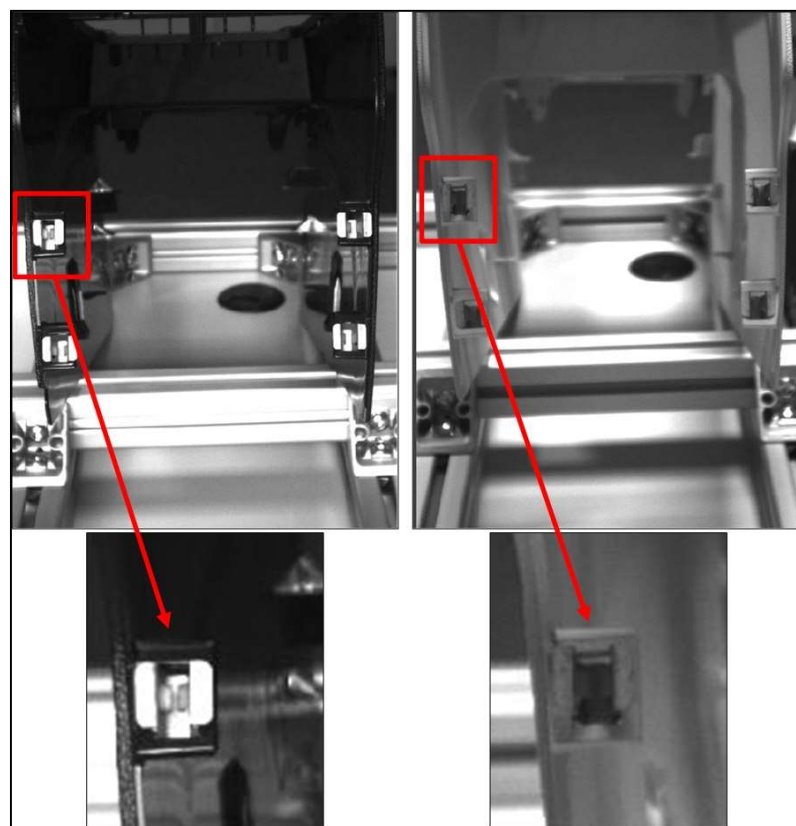


Abbildung 19: Fehlerfall - Steckklammer groß nicht nachgedrückt

2.9 Prüfwerttabelle

Prüfkriterium	Testnummer	Güte [%]	
		schwarze Mittelkonsole	beige Mittelkonsole
Teil korrekt montiert	1	98,414	93,593
	2	97,981	97,449
	3	99,171	98,006
	4	98,553	94,191
	5	99,063	94,578
	6	98,875	95,361
	7	99,298	96,441
	8	97,992	96,862
	9	98,378	95,403
	10	98,149	97,846
	Mittelwert	98,587	95,973
kein Teil montiert	1	10,499	50,202
	2	11,854	51,539
	3	10,962	51,047
	4	10,759	50,692
	5	10,228	49,993
	6	11,191	50,660
	7	11,376	51,165
	8	10,947	50,867
	9	10,856	50,551
	10	11,005	51,039
	Mittelwert	10,968	50,776
Teil nur angefädelt	1	46,185	26,676
	2	46,593	26,595
	3	46,983	26,395
	4	46,773	26,983
	5	46,259	27,175
	6	45,968	27,294
	7	46,503	26,553
	8	46,258	26,648
	9	46,879	26,689
	10	46,182	27,094
	Mittelwert	46,458	26,810
Teil schief montiert	1	35,365	52,562
	2	35,936	51,857
	3	35,358	51,729
	4	34,963	52,262
	5	36,205	52,109
	6	35,018	51,985
	7	35,598	52,593
	8	36,194	52,392
	9	36,045	51,976
	10	35,339	52,094
	Mittelwert	35,602	52,156

Prüfkriterium	Testnummer	Güte [%]	
		schwarze Mittelkonsole	beige Mittelkonsole
Teil nicht nachgedrückt	1	14,863	47,073
	2	15,265	46,354
	3	14,956	46,369
	4	15,184	47,582
	5	14,396	47,338
	6	14,793	46,936
	7	14,592	46,283
	8	15,078	47,423
	9	15,173	46,238
	10	14,863	47,099
	Mittelwert	14,916	46,870

3. Prüfung Steckklammern klein Mittelkonsole (schwarz und beige)

3.1 Prüfmerkmale

- Anwesenheit der Steckklammer klein
- richtige Montage der Steckklammer klein

3.2 Versuchsaufbau (Schema)

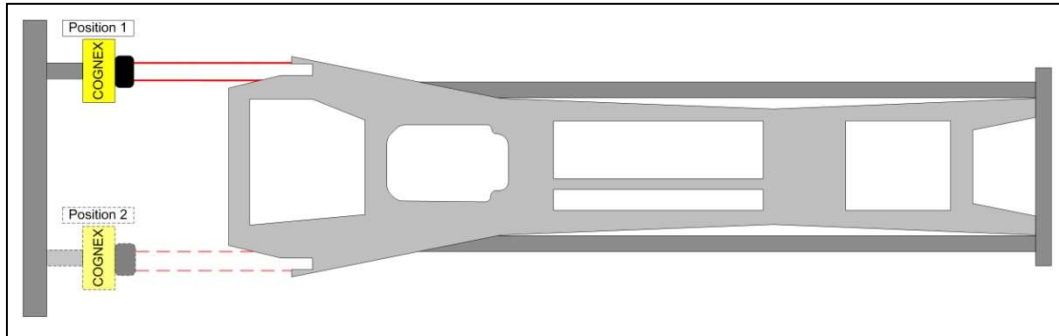


Abbildung 20: Versuchsaufbau Draufsicht - Prüfung Steckklammern klein

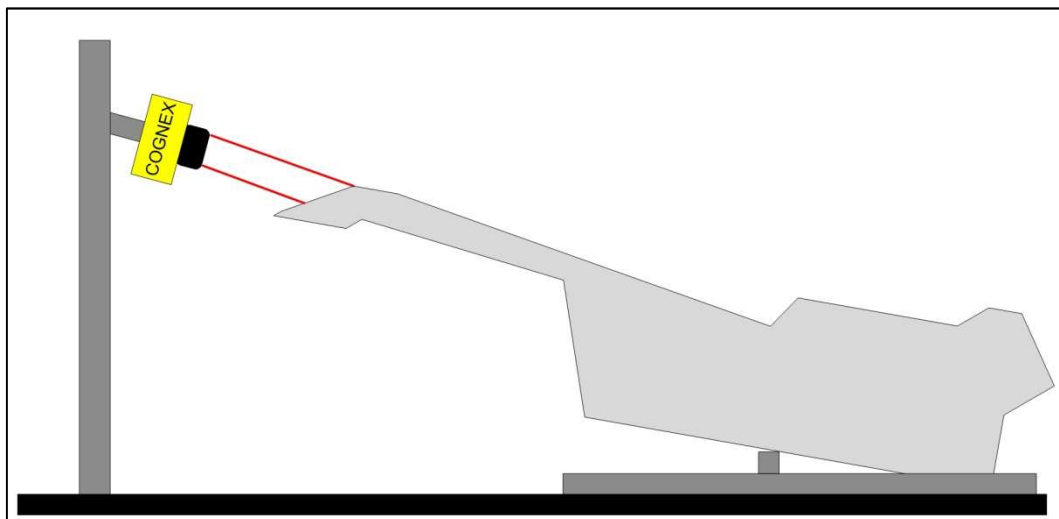


Abbildung 21: Versuchsaufbau Seitenansicht - Prüfung Steckklammern klein

3.3 Verwendete Software

- In-Sight Explorer 4.9.1

3.4 Verwendete Hardware

- Cognex In-Sight 5100
- Objektiv: 12 mm
- Auflösung: 640 x 480

3.5 Versuchsparameter

- Optische Entfernung: 30 cm
- Ringbeleuchtung schwarze Mittelkonsole (horizontal/vertikal): ja/ja
- Ringbeleuchtung beige Mittelkonsole (horizontal/vertikal): ja/ja

3.6 Musterbild

- Musterbild einer schwarzen und beige Mittelkonsole
- Definition der Positionen Steckklammern klein nach Kameraposition 1 und 2

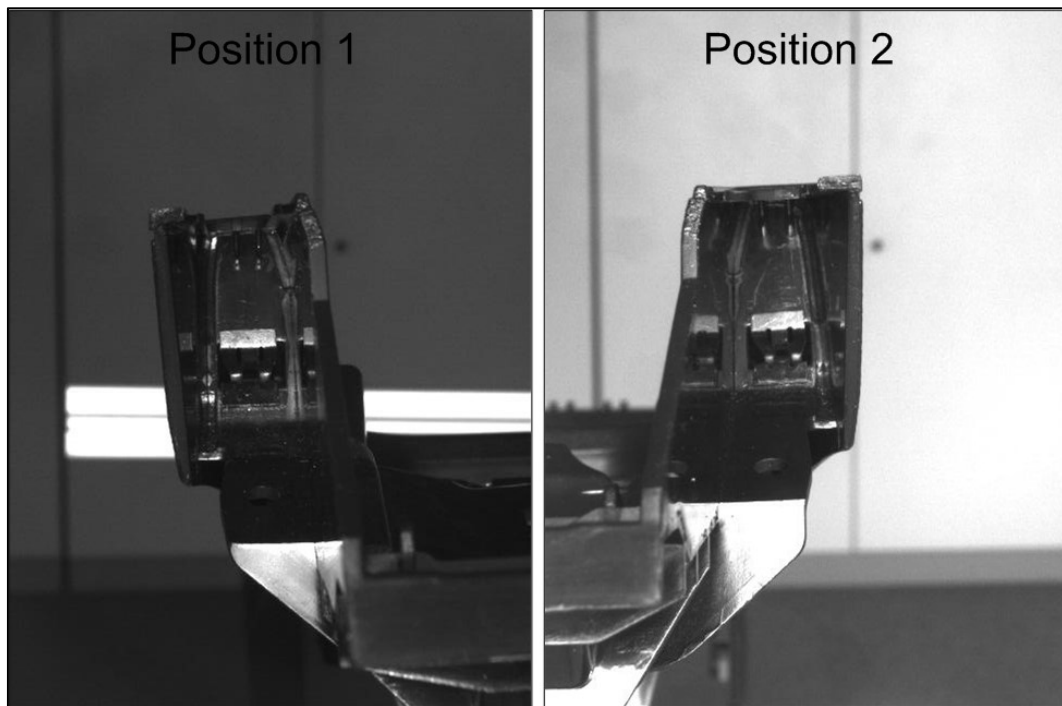


Abbildung 22: Musterbild Steckklammern klein (schwarze Mittelkonsole)

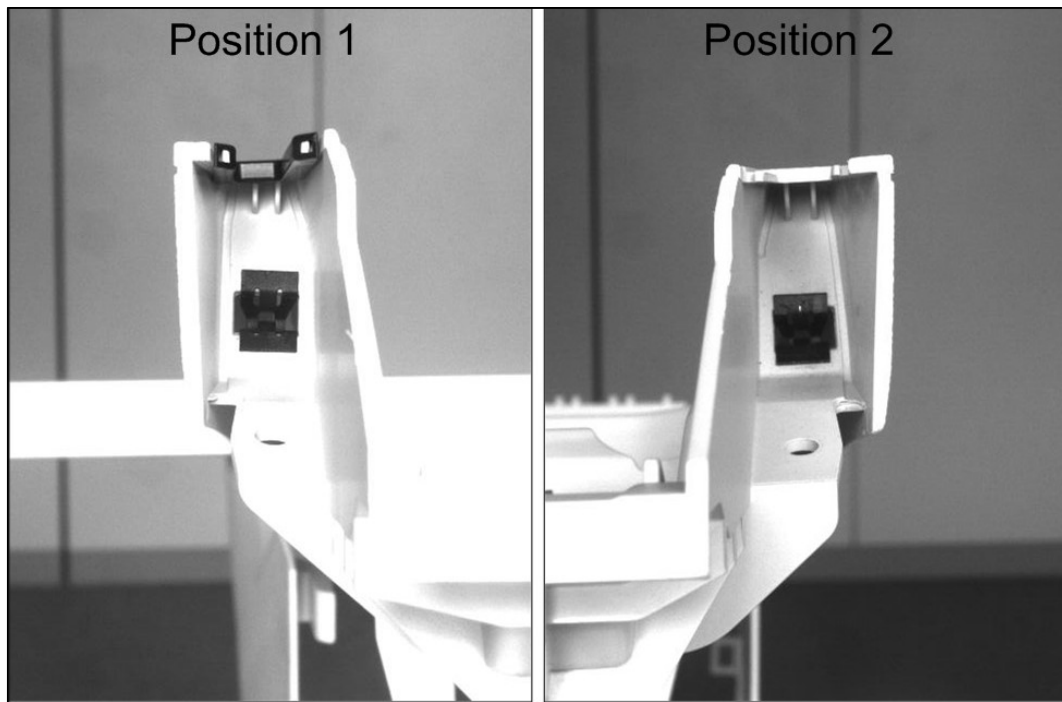


Abbildung 23: Musterbild Steckklammern klein (beige Mittelkonsole)

3.7 Einlernen der Konturen

- Erkennen der Kontur mit der Funktion TrainPatMaxPattern

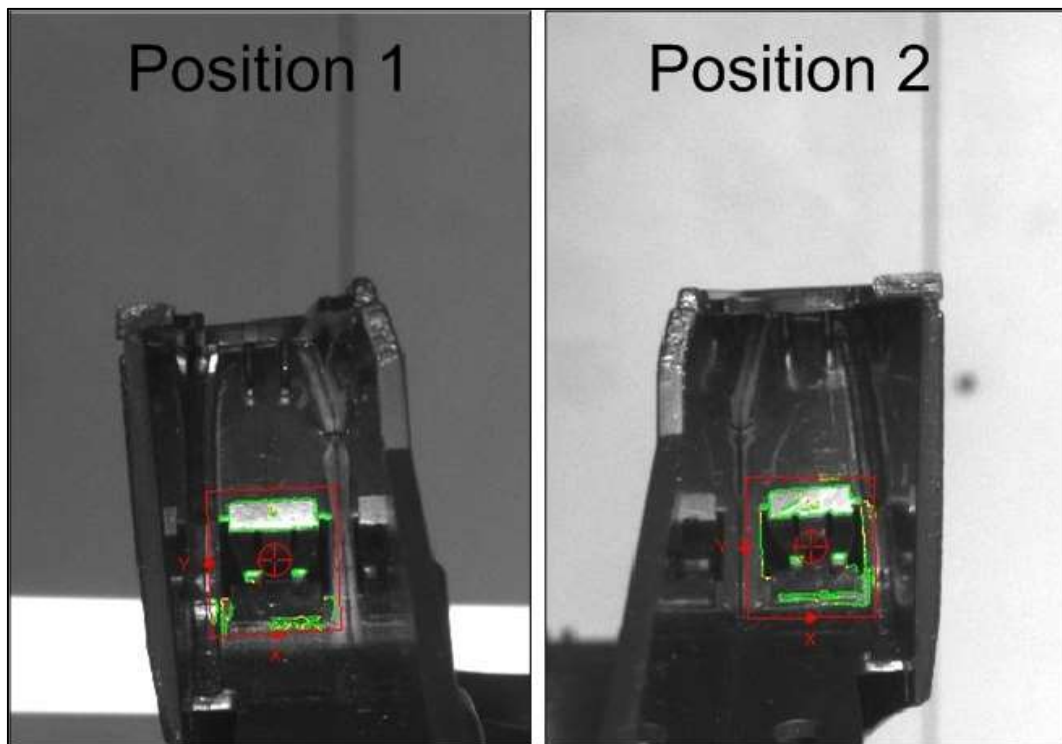


Abbildung 24: Konturerkennung Steckklammer klein (schwarze Mittelkonsole)

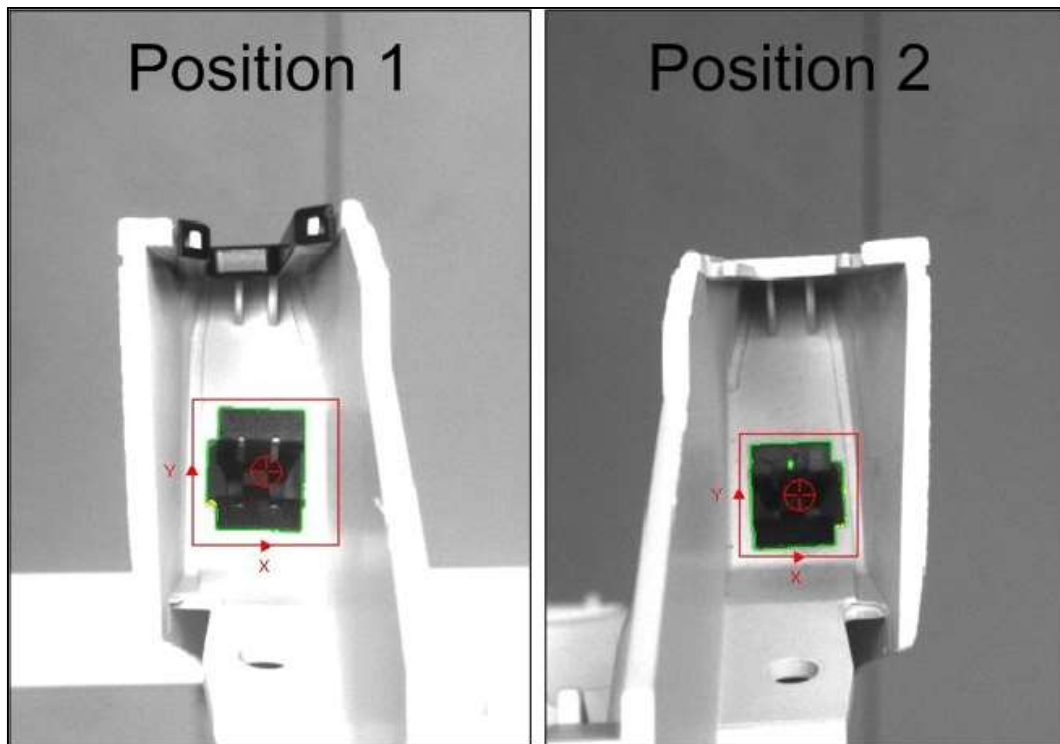


Abbildung 25: Konturerkennung Steckklammer klein (beige Mittelkonsole)

3.8 Fehlerfälle

- an Steckklammer klein Kameraposition 1 durchgeführt (übertragbar auf Kameraposition 2)
- Tabelle mit allen Prüfwerten unter 3.9 Prüfwerttabelle
- Anforderungen an Gut-Teil:
 - Güte: größer als 85 %

Fehlerfall	Güte [%]	
	Schwarze Mittelkonsole	Beige Mittelkonsole
kein Teil montiert (s. Abbildung 26)	12,056	32,528
Teil schief montiert (s. Abbildung 27)	7,389	45,301
Teil verkantet montiert (s. Abbildung 28)	14,141	39,171

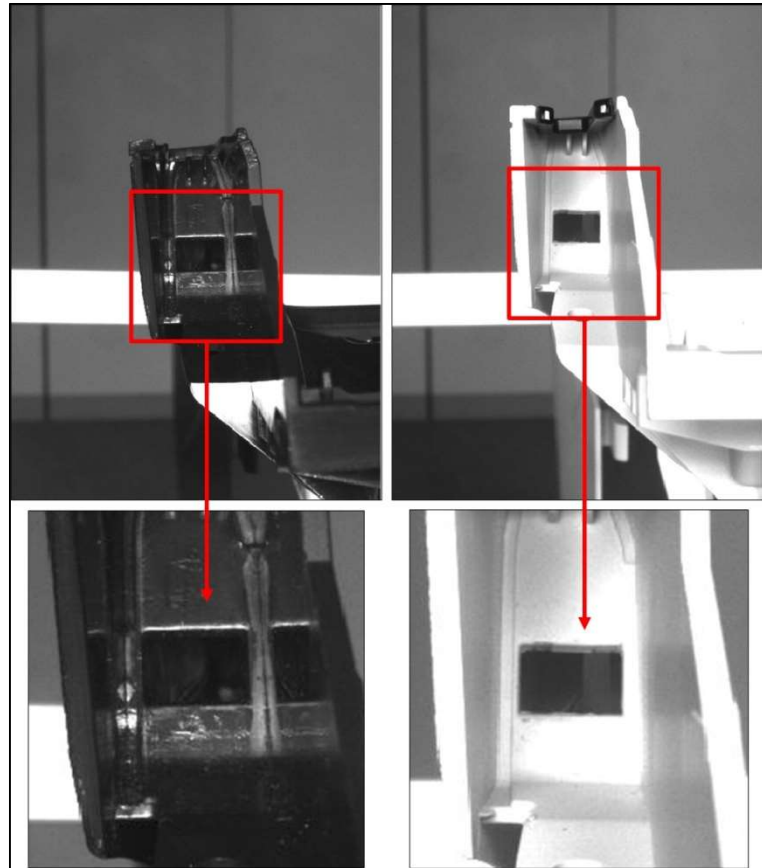


Abbildung 26: Fehlerfall - Steckklammer klein nicht montiert

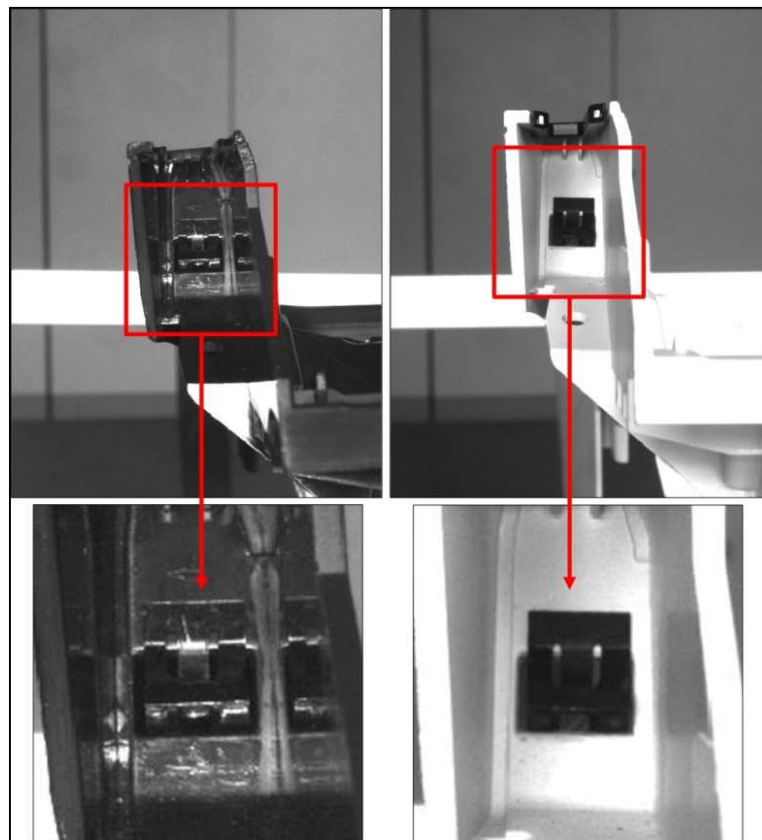


Abbildung 27: Fehlerfall - Steckklammer klein schief montiert

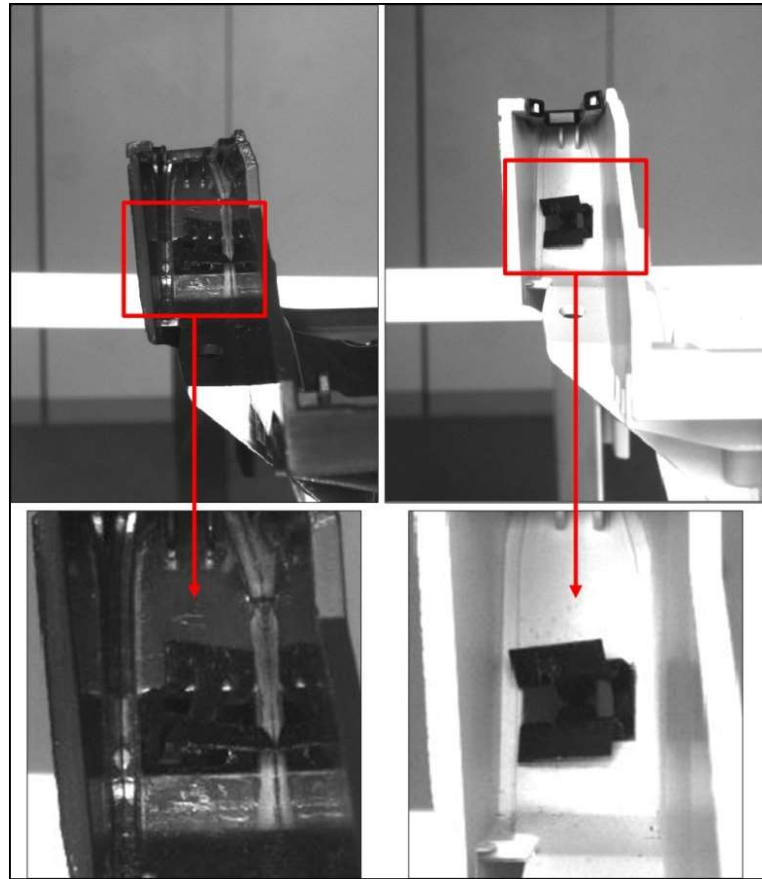


Abbildung 28: Fehlerfall - Steckklammer klein verkantet montiert

3.9 Prüfwerttabelle

Prüfkriterium	Testnummer	Güte [%]	
		schwarze Mittelkonsole	beige Mittelkonsole
Teil korrekt montiert	1	96,427	98,953
	2	96,508	99,241
	3	87,282	99,002
	4	88,125	99,226
	5	96,492	99,475
	6	92,334	98,970
	7	91,698	99,008
	8	89,006	99,230
	9	88,842	99,363
	10	90,301	99,035
	Mittelwert	91,702	99,150
kein Teil montiert	1	12,103	34,296
	2	13,142	31,424
	3	13,116	32,531
	4	12,731	32,788
	5	11,784	33,808
	6	11,795	31,961
	7	10,981	32,512
	8	12,677	34,349
	9	12,237	29,631
	10	9,990	31,983
	Mittelwert	12,056	32,528
Teil schief montiert	1	6,998	45,060
	2	7,246	45,610
	3	8,365	46,610
	4	6,795	46,154
	5	7,476	44,111
	6	7,329	44,937
	7	8,075	45,218
	8	7,158	45,642
	9	6,873	45,855
	10	7,579	43,814
	Mittelwert	7,389	45,301
Teil verkantet montiert	1	11,329	39,057
	2	18,119	38,879
	3	7,447	38,673
	4	14,769	39,021
	5	12,806	38,982
	6	14,476	39,865
	7	12,559	39,353
	8	13,233	38,225
	9	18,763	39,626
	10	17,912	40,029
	Mittelwert	14,141	39,171